



FINAL PROJECT - RC14 - 1501

**STRUCTURE DESIGN OF TRACK
MONORAIL AND SWITCHPOINT
SOEKARNO-HATTA AIRPORT
CENGKARENG
BY USING CONCRETE REINFORCEMENT
PRECAST - PRESTRESSED**

MUHAMMAD IKHSAN HIDAYAT
NRP 3112 105 054

Preceptor Lecturer
Ir. Djoko Irawan, MS.

EXTENSION OF BACHELOR DEGREE OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR TRACK MONORAIL DAN SWITCHPOINT BANDARA SOEKARNO- HATTA CENGKARENG DENGAN STRUKTUR BETON PRACETAK - PRATEKAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD IKHSAN HIDAYAT

Nrp. 3112 105 054

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Ir. Djoko Irawan, MS.
NIP. 19590213 198701 1 001

SURABAYA, JANUARI 2015

**PERENCANAAN STRUKTUR TRACK MONORAIL
DAN SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK – PRATEKAN**

Nama Mahasiswa : Muhammad Ikhsan Hidayat
NRP : 3112 105 054
Jurusan : Teknik Sipil FTSP - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Irawan, MS.

Abstrak

Melihat kondisi lalu lintas di kawasan Bandara Soekarno-Hatta yang begitu padat tentunya menimbulkan kerugian di berbagai pihak terutama para pengguna jalan. Padatnya lalu lintas menuju bandara Soekarno-Hatta akan memperbanyak waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke bandara, hal ini akan membuat penumpang terlambat pesawat serta lalu lintas menjadi kurang lancar. Oleh sebab itu untuk meningkatkan pelayanan di Bandara Soekarno-Hatta, akan dibangun fasilitas angkutan internal Bandara yang berupa Kereta Monorel yang melayani perpindahan orang dari satu terminal ke terminal lainnya. Jenis kereta Monorel yang digunakan yaitu APMS (Automated People Mover System) buatan PT. INKA yang berlokasi di Madiun, Jawa Timur, Indonesia.

Dalam Tugas akhir ini akan direncanakan struktur Track monorel dan Switchpoint sebagai fasilitas pendukung di Bandara Soekarno-Hatta, Cengkareng – Jakarta. Dimana Track monorel sebagai sarana melintas nya kereta untuk mengangkut penumpang dari terminal satu ke terminal lainnya. Sedangkan fungsi dari Switchpoint adalah sebagai sarana kereta untuk berpindah jalur dari satu jalur ke jalur lainnya. Struktur Balok Track Monorel menggunakan Beton pracetak-pratekan, sedangkan struktur Switchpoint menggunakan beton bertulang dengan mutu tinggi.

Desain dan pembebanan Track Monorel Bandara menggunakan standar pembebanan kereta dan kriteria desain dari PT. INKA. Adapun beban-beban lainnya yaitu beban gempa menggunakan standar pembebanan gempa untuk jembatan yaitu RSNI 2833:201X (2013). Sedangkan standar-standar lain yang digunakan dalam perencanaan antara lain, SNI 03-2847-2002 (Struktur Beton), PCI (Precast Concrete Institute) dan PPPURG 1987 (Pembebanan Gedung).

***Kata kunci : Monorel, Switchpoint, Balok Guideway,
Beton Pracetak, Beton Pratekan***

**STRUCTURE DESIGN OF TRACK MONORAIL AND
SWITCHPOINT SOEKARNO-HATTA AIRPORT
CENGKARENG
BY USING CONCRETE REINFORCEMENT
PRECAST - PRESTRESSED**

Student Name : Muhammad Ikhsan Hidayat
Student Reg. Number : 3112 105 054
Majors : Civil Engineering FTSP - ITS
Supervisors : Ir. Djoko Irawan, MS.

Abstract

traffic conditions in the area of Soekarno-Hatta were so dense certainly cause losses in various parties, especially road users. dense traffic towards Soekarno-Hatta will increase the time it takes to get to the airport, it will make a late passenger plane as well as traffic becomes less smooth. therefore to improve services at Soekarno-Hatta, internal transport facilities will be built in the form of airport monorail trains that serve the movement of people from one terminal to another terminal. type monorail train used is APMS (automated people mover system) artificial pt. inka located in Madiun, East Java, Indonesia.

in this thesis will be planned monorail track structure and switchpoint as support facilities at Soekarno-Hatta - jakarta. where the monorail track as a means of his passing trains to carry passengers from one terminal to another terminal. while the function of the switchpoint is as a means to change lanes train from one track to another track. monorail track beam structure using precast-prestressed concrete, while the switchpoint using reinforced concrete structure with high quality.

design and loading tracks using the airport monorail train loading standards and design criteria of pt. inka. As for the other expenses that seismic load using standard earthquake loading to bridge that RSNI 2833: 201x (2013). while other standards are used in the planning, among others, SNI 03-2847-

*2002 (concrete structures), pci (precast concrete institue) and
pppurg 1987 (loading building).*

Word key :

*Monorel, Switchpoint, Guideway Beam,
Precast Concrete, Prestressed Concrete*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah senantiasa kami haturkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan dan menyusun Laporan Proyek Akhir ini. Tak lupa shalawat serta salam yang selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, keluarga, dan para shahabatnya.

Tersusunnya Laporan Proyek Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada kami. Untuk itu kami ucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Kedua orang tua, dan keluarga kami tercinta, sebagai penyemangat terbesar bagi kami, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil terutama doanya.
2. Bapak Ir. Djoko Irawan. MS, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
3. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan proyek akhir ini.

Kami menyadari bahwa sebagai manusia dan dalam penyusunan proyek akhir ini masih banyak kekurangan, masih jauh dari kesempurnaan, dan arena kesempurnaan hanya milik Tuhan Seluruh Alam, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proyek akhir ini.

Semoga apa yang kami sajikan dapat memberi manfaat bagi pembaca dan semua pihak. Amin.

Surabaya, Januari 2015

Penyusun

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. <i>Straddle</i> Monorel.....	2
1.2. <i>Suspended</i> Monorel	2
1.3. Ruang Lingkup Perencanaan	3
2.1. <i>Lay Out</i> Lintasan Kereta (Track).....	8
2.2. Pelat Satu Arah.....	9
2.3. Pelat dua Arah	9
2.4. <i>Guideway Beam</i>	10
2.5. Metoda Pre-Tension dan Post-Tension.....	13
2.6. Beton <i>Precast</i>	17
2.7. Contoh – Contoh Pondasi bila Lapisan Pendukung Pondasi Cukup Dangkal	23
2.8. Contoh Pondasi bila Lapisan Pendukung Pondasi Sekitar 20 m di bawah Permukaan Tanah	23
2.9. Contoh Pondasi bila Lapisan Pendukung Pondai Berada Sekitar 30 m di bawah Permukaan tanah	24
3.1. Formasi Roda Kereta.....	29
3.2. Desain Pratekan Balok <i>Guideway</i>	30
3.3. Desain Pratekan Balok <i>Guideway</i> tiap 100 meter	31
3.4. Desain Hubungan antara Kolom dan Pile.....	32
3.5. Ujung Spun Pile.....	33
3.6. Switch 5 in 1	33
3.7. Switch 3 in 1	34
3.8. Potongan Memanjang dan Melintang Switch 3 in 1..	34
3.9. Potongan Memanjang dan Melintang Switch 5 in 1..	35
3.10. Peta percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun .	38
3.11. Peta Respons Spektra Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun	38

3.12. Peta Respons Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Terlampaui 7% dalam 75 Tahun.....	39
3.13. Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan	39
3.14. Beban Gandar & Garis Netralnya.....	43
3.15. Kondisi Beban Kereta Alternatif 1	45
3.16. Kondisi Beban Kereta Alternatif 2	45
3.17. Kondisi Beban pada Pilar	46
3.18. Pembebanan Balok Akibat Beban dan Gaya Prategang	47
3.19. Balok Sederhana.....	60
3.20. Balok Menerus.....	60
3.21. Syarat Pelat Satu Arah.....	61
3.22. Kondisi – kondisi jika Kekuatan Lentur Nominal tercapai pada Perhitungan Tulangan Tunggal	65
3.23. Kondisi – Kondisi jika Kekuatan Lentur Nominal Tercapai pada Perhitungan Tulangan rangka	67
3.24. Kontrol Geser Pons pada Pile Cap Akibat Beban Kolom.....	78
3.25. Kontrol Geser Ponds Pada Pile Cap Akibat Beban TiangPancang	80
4.1. Struktur <i>Track Monorel</i>	90
4.2. Formasi beban Gandar.....	91
4.3. Input Beban Kereta pada SAP	92
4.4. Beban Angin.....	93
4.5. Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan Tanah	97
4.6. Grafik Respons Spektra Rencana	99
4.7. Permodelan Struktur Monorel	101
4.8. Desain Balok Guideway	102
4.9. Desain Pratekanan balok guideway tiap 100 meter.....	102
4.10. Bidang Momen Balok Menerus.....	105
4.11. Diagram Tegangan Akibat Beban Sendiri Simple Beam	107

4.12.	Daerah Limit kabel pada tengah bentang	109
4.13.	Diagram Tegangan Akibat Beban Sendiri Simple Beam setelah kehilangan	119
4.14.	Diagram Momen.....	125
4.15.	Potongan Penampang Pier Head.....	143
5.1.	Pelat Lantai Switch 3 in 1.....	147
5.2.	Beban Track Beam	148
5.3.	Lokasi Pelat Tumpuan <i>Guideway beam</i>	149
5.4.	<i>Input</i> Beban Pelat Tumpuan <i>Guideway Beam</i>	149
5.5.	<i>Input</i> Beban ME pada Permodelan.....	150
5.6.	Formasi Roda Kereta.....	150
5.7.	Beban Hidup <i>Track Beam</i>	151
5.8.	Beban P_{buggie} pada Permodelan SAP	151
5.9.	Tulangan Pelat Lantai Switch 3 in 1.....	155
5.10.	Tulangan Tumpuan Balok 60/120 cm	166
5.11.	Tulangan Lapangan Balok 60/120 cm.....	175
5.12.	Potongan Pilar <i>Switch</i>	176
5.13.	Potongan Melintang <i>Pier Head</i>	177
5.14.	Bidang Momen Balok <i>Pier Head</i>	178
5.15.	Tulangan Tumpuan Balok <i>Pier Head Switch</i>	187
5.16.	Tulangan Lapangan Balok <i>Pier Head Switch</i>	195
5.17.	Penampang Balok.....	196
5.18.	Tulangan Konsol	199
5.19.	Denah Kolom.....	200
5.20.	Grafik <i>Alignment</i> kolom	201
5.21.	Grafik <i>Alignment</i> Kolom	202
5.22.	Grafik <i>Alignment</i> Kolom	203
5.23.	Momen Nominal Kolom.....	204
5.24.	Tulangan Kolom.....	207
6.1.	Pelat Lantai <i>Switch</i> 5 in 1	209
6.2.	Beban <i>Track Beam</i>	210
6.3.	Lokasi Pelat Tumpuan <i>Guideway Beam</i>	211
6.4.	<i>Input</i> Beban Pelat Tumpuan pada Permodelan.....	211
6.5.	<i>Input</i> Beban ME pada Permodelan.....	212
6.6.	Formasi Roda Kereta Api.....	212

6.7.	Beban Hidup <i>Track Beam</i>	213
6.8.	Beban <i>P_{buggie}</i> pada Permodelan SAP	213
6.9.	Tulangan Pelat Lantai Switch 5 in 1	217
6.10.	Tulangan Tumpuan Balok 60/120 cm	228
6.11.	Tulangan Tumpuan Balok 60/120 cm	237
6.12.	Potongan Pilar <i>Switch</i>	238
6.13.	Bidang Momen Akibat Kombinasi Beban Gempa	239
6.14.	Bidang Momen Akibat Kombinasi Beban Tetap....	239
6.15.	Tulangan Tumpuan Balok <i>Pier Head Switch</i>	248
6.16.	Tulangan Lapangan Balok <i>Pier Head Switch</i>	255
6.17.	Penampang Balok	256
6.18.	Tulangan Konsol	259
6.19.	Denah Kolom	260
6.20.	Grafik <i>Alignment</i> Kolom	261
6.21.	Grafik <i>Alignment</i> Kolom	262
6.22.	Grafik <i>Alignment</i> Kolom	263
6.23.	Momen Nominal Kolom	264
6.24.	Tulangan Kolom	266
7.1.	Potongan Pilar <i>Switch</i>	268
7.2.	Data <i>Bore Log</i> – BH2	269
7.3.	Gambar Lapisan Konsistensi Tanah	270
7.4.	Gambar Lapisan Konsistensi Tanah	273
7.5.	Permodelan <i>Joint Spring</i> pada track Monorel	278
7.6.	Permodelan <i>Joint Spring</i> pada <i>Switch</i> 3 in 1	278
7.7.	Permodelan <i>Joint Spring</i> pada <i>Switch</i> 5 in 1	278
7.8.	Konfigurasi Tiang Monorel	279
7.9.	Konfigurasi Tiang <i>Switch</i> 3 in 1	282
7.10.	Konfigurasi Tiang <i>Switch</i> 5 in 1	285
7.11.	Pile Cap Monorel	288
7.12.	Potongan <i>Pile Cap</i> Monorel	294
7.13.	<i>Pile Cap Switch</i> 3 in 1	295
7.14.	Potongan <i>Pile Cap Switch</i> 3 in 1	299
7.15.	Pile Cap <i>Switch</i> 5 in 1	300
7.16.	Ptongan Pile Cap <i>Switch</i> 5 in 1	304

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	3
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1. Umum	7
2.2. Layout Perencanaan	5
2.3. Perencanaan Bangunan Atas	8
2.3.1. Perencanaan Pelat	8
2.3.2. Perencanaan Balok Beton Bertulang dan Balok Guideway Pratekan	9
2.3.2.1 Istilah Umum	10
2.3.2.2 Keuntungan Beton Pratekan	12
2.3.2.3 Metode Pratekan	12
2.3.3. Perencanaan Pilar Precast	16
2.3.3.1 Persyaratan yang Berlaku untuk beton Pracetak	17
2.3.3.2 Sistem Koneksi Pada beton Pracetak.....	20
2.4. Perencanaan Bangunan Bawah	21

BAB III METODOLOGI	27
3.1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur.....	27
3.2. Desain Permulaan	30
3.3. Konsep Desain Struktur	30
3.3.1. Struktur Balok Guideway.....	30
3.3.2. Struktur Pier Head, Kolom dan Pile cap	31
3.3.3. Struktur Switch.....	33
3.4. Analisis Pembebanan	35
3.4.1. Beban Umum	36
3.4.1.1. Kepentingan Operasional	36
3.4.1.2. Beban Gempa	36
3.4.1.3. Peta Gempa	37
3.4.1.4. Respons Spektrum Gempa	39
3.4.1.5. Kategori Kinerja Seismic	40
3.4.1.6. Faktor Modifikasi Respons	41
3.4.2. Beban Khusus	42
3.4.2.1. Data Pembebanan Kereta	42
3.4.2.2. Kondisi Beban Monorel	45
3.5. Analisis Struktur	46
3.6. Perhitungan Struktur Beton Bertulang, Beton Pratekan, dan Beton Pracetak	46
3.6.1. Perhitungan Beton Pratekan.....	47
3.6.1.1. Prinsip Dasar Beton Prategang.....	47
3.6.1.2. Tegangan Ijin pada Beton dan Baja	49
3.6.1.3. Tahapan-tahapan Pembebanan.....	50
3.6.1.4. Daerah Limit Kabel.....	50
3.6.1.5. Kehilangan Prategang	51
3.6.1.6. Momen Retak.....	58
3.6.1.7. Balok Menerus Pratekan	58
3.6.2. Perhitungan Beton Bertulang	61
3.6.2.1. Perencanaan Pelat.....	61
3.6.2.2. Perencanaan Balok	65
3.6.2.3. Perencanaan Kolom dan Pilar	71
3.7. Perencanaan Pondasi.....	75
3.8. Kontrol Desain.....	81

3.8.1	Kontrol Struktur Beton Bertulang.....	82
3.8.2	Kontrol Struktur Beton Pratekan.....	82
3.9.	Laporan dan Gambar.....	86
3.10.	Diagram Alir (Flow Chart)	87

BAB IV PERENCANAAN TRACK MONOREL	89
4.1. Umum	89
4.2. Permodelan dan Pembebanan	89
4.2.1. Beban Mati (Dead Load).....	90
4.2.2. Beban Hidup (Live Load).....	90
4.2.2.1. Beban Gandar	90
4.2.2.2. Faktor Kejut.....	91
4.2.2.3. Beban Horizontal	91
4.2.3. Beban Gempa (Earthquake Load)	94
4.3. Perencanaan Struktur Pratekan	102
4.3.1. Perencanaan Struktur Balok Guideway Pratekan	102
4.3.1.1 Data dan Perancangan.....	103
4.3.1.2 Analisa Penampang.....	103
4.3.1.3 Tegangan Ijin	104
4.3.1.4 Perhitungan Momen.....	105
4.3.1.5 Menentukan Nilai F_o	106
4.3.1.6 Kontrol Tegangan yang Terjadi	106
4.3.1.7 Perhitungan Tendon	107
4.3.1.8 Menentukan Daerah Limit Kabel.....	108
4.3.1.9 Kehilangan gaya Prategang.....	110
4.3.1.10 Kontrol Tegangan Balok 20 m.....	119
4.3.1.11 Kontrol Lendutan balok 20m.....	120
4.3.1.12 Perhitungan Pratekan Balok 100 m.....	123
4.3.1.13 Kehilangan Prategang balok 100 m	125
4.3.1.14 Kontrol tegangan Balok 100 m	135
4.3.2 Perencanaan Pier Head	136
4.4. Perencanaan Struktur Kolom Monorel	144
4.4.1 Perencanaan Tulangan Lentur Kolom.....	145

BAB V BANGUNAN SWITCHPOINT 3 IN 1	147
5.1. Definisi.....	147
5.2. Perencanaan Pelat Lantai Switchpoint 3 in 1....	147
5.3. Pembebanan Lantai Switch.....	148
5.3.1. Beban Mati Tambahan.....	148
5.3.2. Beban Hidup Kereta.....	150
5.4. Penulangan Pelat Switchpoint 3 in 1.....	152
5.4.1. Perhitungan Tulangan Arah Melintang...	153
5.4.2. Perhitungan Tulangan Arah Memanjang...	154
5.5. Perencanaan Balok Switchpoint 3 in 1.....	155
5.5.1. Preliminary Desain.....	156
5.5.2. Perhitungan Tulangan Balok 60 x 120 cm.	156
5.6. Perencanaan Pilar.....	176
5.6.1. Perencanaan Balok Pier Head.....	176
5.6.1.1. Pembebanan pada Pier Head.....	177
5.6.1.2. Perhitungan Tulangan Pier Head.....	178
5.6.2. Perencanaan Kolom Switch 3 in 1.....	200
5.6.2.1. Perhitungan Tulangan Memanjang Kolom	201
5.6.2.2. Perhitungan Tulangan Geser Kolom	204
 BAB VI PERENCANAAN BANGUNAN	
SWITCHPOINT 5 IN 1.....	209
6.1. Definisi.....	209
6.2. Perencnaan Pelat Lantai Switchpoint 3 in 1.....	209
6.3. Pembebanan Lantai Switch.....	210
6.3.1. Beban Mati Tambahan	210
6.3.2. Beban Hidup kereta.....	212
6.4. Penulangan Pelat Lantai Switchpoint 5 in 1	214
6.4.1. Perhitungan Tulangan Arah Melintang	215
6.4.2. Perhitungan Tulangan Arah Memanjang ...	216
6.5. Perencanaan Balok Switchpoint 5 in 1	218
6.5.1. Peliminary Desain	218
6.5.2. Perhitungan Tulangan Balok 60 x 120 cm.	218
6.6. Perencanaan Pilar.....	238
6.6.1. Perencanaan Balok Pier Head	238

6.6.1.1. Pembebanan pada Pier Head	238
6.6.1.2. Perhitungan Tulangan Pier Head.....	239
6.6.2. Perencanaan Kolom Switch 3 in 1	260
6.6.2.1. Perhitungan Tulangan Memanjang Kolom.....	261
6.6.2.2. Perhitungan Tulangan Geser Kolom	264
BAB VII PERENCANAAN PONDASI.....	267
7.1. Pendahuluan.....	267
7.2. Analisa Data Tanah.....	268
7.3. Perhitungan Daya Dukung Tanah (P_{ijin})	271
7.3.1. Menghitung Gaya Aksial Pondasi Tiang ...	273
7.3.2. Menghitung Daya Dukung Horizontal Pondasi Tiang.....	274
7.3.3. Kapasitas Cabut Tiang (RC)	276
7.3.4. Rekapitulasi Daya Dukung Tanah Pondasi Tiang.....	276
7.3.5. Menghitung Nilai Joint Spring pada pondasi Tiang	276
7.3.6. Perhitungan reaksi Tiang dan Konfigurasi Tiang	279
7.3.6.1. Pondasi Monorel.....	279
7.3.6.2. Pondasi Switch 3 in 1	282
7.3.6.3. Pondasi Switch 5 in 1	284
7.4. Perhitungan Tulangan Pile Cap	288
7.4.1. Pile Cap Monorel	288
7.4.1.1. Kontrol Geser Pons.....	289
7.4.1.2. Perencanaan Lentur Pile Cap.....	290
7.4.1.3. Perencanaan Geser Pile Cap	292
7.4.2. Pile Cap Switch 3 in 1	295
7.4.2.1. Kontrol Geser Pons.....	295
7.4.2.2. Perencanaan Lentur Pile Cap.....	296
7.4.2.3. Perencanaan Geser Pile Cap	298
7.4.3. Pile Cap Switch 5 in 1	300
7.4.3.1. Kontrol Geser Pons.....	300

7.4.3.2. Perencanaan Lentur Pile Cap.....	301
7.4.3.3. Perencanaan Geser Pile Cap.....	303
BAB VIII PENUTUP	305
8.1. Ringkasan.....	305
8.2. Saran.....	306
DAFTAR PUSTAKA	307
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1. Penjelasan Peta Gempa 2010.....	37
3.2. Zona Gempa	41
3.3. Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Bangunan Bawah.....	42
3.4. Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Bangunan antar Elemen Struktur.....	42
3.5. Tabel Koefisien Susut <i>Post- Tension</i>	57
3.6. Perencanaan Pelat Satu Arah.....	61
3.7. Rasio Tulangan Susut dan Suhu	63
3.8. Rasio Tulangan Susut dan Suhu	71
4.1. Kelas Situs.....	94
4.2. Faktor Amplifikasi untuk Periode 0 Detik dan 0.2 Detik (F_{PGA} / F_a).....	95
4.3. Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik (F_v).....	96
4.4. Hubungan antara Periode (T) dan Koefisien Gempa Elastik (C).....	98
4.5. Zona Gempa (RSNI 2833:201X).....	99
4.6. Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Bangunan Bawah	100
4.7. Faktor Modifikasi Respons (R) untuk hubungan antar Elemen Struktur.....	100
4.8. Momen pada Balok Menerus.....	123
4.9. Tabel Perhitungan gaya Prategang	127
4.10. Tabel Perhitungan F_{eff}	131
4.11. Perhitungan Tegangan Girder Guideway 100 meter.....	135
5.1. Momen yang Terjadi pada SAP.....	152
5.2. Gaya – Gaya yang Bekerja pada Konsol	197
6.1. Momen yang Terjadi pada SAP.....	214
6.2. Gaya Gaya yang Bekerja pada Konsol	257

7.1.	Data <i>Bor Log</i> Tanah	272
7.2.	Rekapitulasi Daya Dukung Tanah Pondasi	276
7.3.	Tabel Perhitungan <i>Joint Spring</i>	277
7.4.	Tabel Reaksi Kombinasi Pembebanan Monorel.....	280
7.5.	Resume Tiang Pancang Monorel.....	281
7.6.	Tabel Reaksi Kombinasi Pembebanan <i>Switch 3 in 1</i>	282
7.7.	Resume Tiang Pancang <i>3 in 1</i>	284
7.8.	Tabel Reaksi Kombinasi Pembebanan <i>Switch 3 in 1</i>	286
7.9.	Resume Tiang Pancang Monorel.....	287

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Kemacetan lalu lintas sudah merupakan pemandangan sehari-hari bagi masyarakat di perkotaan besar, Terutama pada kawasan sekitar Bandara Soekarno-Hatta Cengkareng. Hal ini terjadi akibat tingginya kebutuhan (*demand side*) yang tidak diimbangi oleh sarana dan prasarana (*supply side*). Tingginya jumlah kendaraan bermotor tidak diikuti oleh daya dukung dan daya tampung jalan raya. Selain itu Bandara Soekarno-Hatta merupakan Bandara tersibuk di Indonesia ditambah lagi dengan rencana pembangunan terminal baru akan menambah kemacetan arus lalu lintas antar terminal kawasan bandara Soekarno-Hatta. Kerugian yang ditimbulkan akibat kemacetan, dari sisi ekonomi akan meningkatkan konsumsi BBM dan biaya operasi kendaraan. Kemudian di sisi lain buruknya kualitas lingkungan yang diakibatkan pencemaran udara akan meningkat.

Salah satu alternatif solusi mengatasi kemacetan adalah dengan memperbaiki sarana angkutan massal. Angkutan massal dapat menampung penumpang dalam jumlah yang besar untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi di jalan raya.

Monorail merupakan salah satu moda transportasi yang berbasis rel tunggal dengan penggerak berupa motor listrik. Sistem transportasi ini dapat dijadikan alternatif angkutan massal perkotaan. Monorail cocok untuk angkutan perkotaan di Indonesia mengingat keterbatasan lahan dan kepadatan bangunan di kota-kota besar di Indonesia. Rel monorel bisa berupa balok beton ataupun balok baja dan kendaraannya mencengkram rel tersebut (Gambar 1.1. *straddle type*) atau menggantung (Gambar 1.2. *suspended*). Desain *guideway* monorail ramping, tidak menghabiskan lahan dapat dipasang di media jalan dan masih banyak menghasilkan ruang terbuka.

Gambar 1.1. *straddle* monorelGambar 1.2. *suspended* monorel

Pentingnya perencanaan transportasi massal berupa monorel pada Bandara Soekarno hatta sebagai fasilitas angkutan internal Bandara yang melayani perpindahan orang maupun barang dari satu terminal ke terminal lainnya akan di bahas pada tugas akhir ini.

Untuk dapat mewujudkan pembangunan daripada prasarana untuk monorel tersebut maka perlu adanya perencanaan struktur yang matang dan serius sehingga dapat memberikan hasil yg memuaskan.

Adapun ruang lingkup pekerjaan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Perencanaan struktur monorel yg meliputi bangunan atas dan bangunan bawah yaitu pondasi, pilar, dan balok *guideway* monorel dengan batasan perencanaan lintasan seperti pada gambar 1.3.



Gambar 1.3. Ruang Lingkup Perencanaan

Gambar 1.3. Merupakan Ruang lingkup perencanaan lintasan monorel pada tugas akhir ini, yang meliputi lintasan monorel dari stasiun T1 menuju Depo sepanjang 960 meter.

2. Perencanaan struktur *Track switch* yg memfasilitasi kereta monorel untuk berpindah jalur. Track switch yang direncanakan adalah Switch 3 in 1 dan Switch 5 in 1.
3. Pengklasifikasian beban-beban pada struktur monorel maupun switch point sesuai dengan peraturan dan tata cara yang berlaku.
4. Permodelan analisis dan desain struktur yang terbuat dari beton dan beton pratekan sesuai dengan kaidah-kaidah dan tata cara yang berlaku.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Dalam perencanaan struktur monorel ini perlu ada nya suatu perhitungan khusus sehingga didapatkan suatu desain

struktur monorel yang baik serta memenuhi standar yang telah disyaratkan dalam peraturan yang berlaku. Sehingga akan timbul suatu pertanyaan, bagaimana perencanaan suatu monorel yang baik serta memenuhi persyaratan yang ditentukan?

Adapun dari gambaran umum terdapat beberapa masalah yang harus diselesaikan antara lain :

1. Bagaimana merencanakan struktur bangunan atas maupun bangunan bawah monorel dan switch?
2. Bagaimana menganalisis beban-beban yang bekerja pada struktur monorel dan switch?
3. Bagaimana mendesain balok guideway, balok crosshead dan pilar monorel dengan menggunakan beton pracetak-pratekan?
4. Bagaimana menganalisis perilaku dari struktur monorel dan switch akibat gempa?
5. Bagaimana memodelkan analisis struktur monorel dan switch menggunakan alat bantu program SAP 2000?
6. Bagaimana menggambarkan hasil dari perencanaan struktur monorel dan switch

1.3. BATASAN MASALAH

Pada proyek akhir ini hanya akan membahas tentang struktur monorel beserta switch point, dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Perencanaan dan perhitungan struktur bangunan atas meliputi :
 - a. Struktur kolom/pilar dari beton bertulang-pracetak
 - b. Struktur balok crosshead dari beton pratekan-pracetak
 - c. Struktur balok guideway dari beton pratekan-pracetak
2. Perencanaan dan perhitungan struktur bangunan bawah meliputi :
 - a. Struktur pile cap dari beton bertulang-cast in situ

- b. Pondasi tiang pancang
- 3. Perencanaan track monorel hanya pada jalur lurus, dan menggunakan konsep desain pilar simetris.
- 4. Perencanaan struktur switch point.
 - a. Struktur kolom/pilar dari beton bertulang-cast in situ
 - b. Struktur balok portal dari beton bertulang-cast in situ
 - c. Struktur balok switch dari beton bertulang
- 5. Perhitungan switchpoint meliputi konsep desain switch 3 in 1 dan switch 5 in 1.
- 6. Perhitungan struktur monorel tidak menghitung analisis biaya, utilitas, arsitektural, manajemen konstruksi dan lain sebagainya.

1.4 TUJUAN

Tujuan dari proyek akhir perencanaan struktur monorel antara lain :

- 1. Mampu merencanakan dan menganalisis struktur bangunan atas maupun bangunan bawah monorel.
- 2. Mampu menganalisis beban-beban pada struktur monorel dan switch.
- 3. Mampu mendesain balok crosshead, balok guideway dan pilar monorel dengan menggunakan beton pracetak-pratekan.
- 4. Mampu menganalisis perilaku dari struktur monorel dan switch akibat gempa.
- 5. Mampu merancang permodelan struktur monorel pada program komputer.
- 6. Mampu menggambarkan struktur bangunan monorel dan switch, baik struktur bangunan atas maupun bangunan bawah.

1.5 MANFAAT

Manfaat dari proyek akhir ini antara lain :

1. Dapat mendesain bangunan monorel yang tahan terhadap gaya gempa, gaya akibat kereta, serta gaya akibat beban sendiri bangunan tersebut.
2. Dapat memberikan manfaat bagi pembaca yang ingin mendesain bangunan monorel.
3. Manfaat dari perencanaan monorel ini adalah dapat memperlancar arus transportasi penumpang yang ingin berpindah dari terminal satu ke terminal yang lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

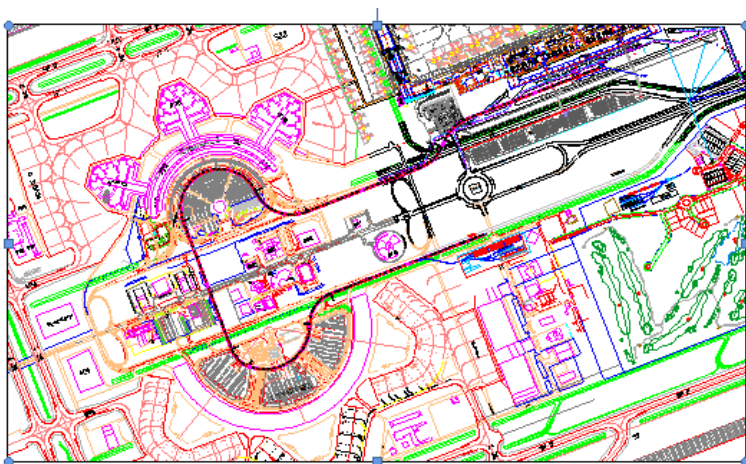
2.1 UMUM

Monorail merupakan salah satu moda transportasi yang berbasis rel tunggal dengan penggerak berupa motor listrik. Dalam rangka untuk meningkatkan pelayanan di Bandara Soekarno – Hatta, maka akan dibangun fasilitas angkutan internal Bandara yang berupa Monorail. Untuk dapat mewujudkan pembangunan prasarana untuk monorail tersebut, maka perlu dilakukan perancangan yang matang.

Monorail bandara Soekarno – Hatta ini didesain dengan menggunakan metode beton prategang serta beton pracetak. Metode ini dipilih karena bentang balok rel kereta (guideway beam) terbilang lumayan panjang, selain itu balok yang digunakan sebagai rel kereta tersebut harus mampu menahan gaya – gaya yang ditimbulkan oleh kereta yang melintas. Metode beton pracetak digunakan untuk mempermudah proses pelaksanaan, disamping itu metode dengan beton pracetak lebih cepat serta efisien.

2.2 LAYOUT PERENCANAAN

Layout Perencanaan ini merupakan rencana pembangunan monorel pada kawasan bandara Soekarno-Hatta yang menghubungkan antar terminal dan bertujuan untuk menguraikan kemacetan pada kawasan bandara Soekarno-Hatta. Panjang total dari perencanaan APMS Track monorel ini adalah sekitar 2,7 km.



Gambar 2.1 Lay Out Lintasan Kereta (Track)

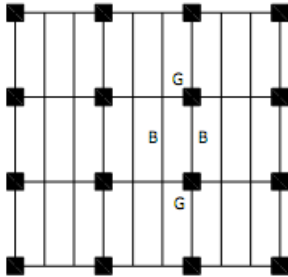
1. Nama Proyek : APMS (Automated People Mover System) Bandara SOETTA
2. Pemilik Proyek : PT.Angkasa Pura
3. Lokasi Proyek : Bandara Soekarno – Hatta

2.3 PERENCANAAN BANGUNAN ATAS

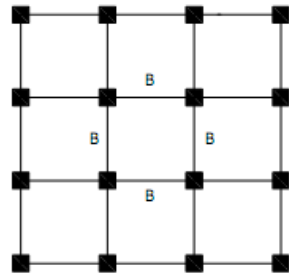
Perencanaan bangunan atas dihitung berdasarkan RSNI 03-2847-2012 “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung”.

2.3.1 Perencanaan Pelat

Pelat merupakan salah satu elemen struktur yang secara langsung menerima beban yang bekerja terutama beban mati dan beban hidup yang akan bekerja pada sebuah struktur. Pelat dalam hal ini dibagi atas beberapa bagian yang disebut “ Panel “. Yang disebut Panel pada pelat adalah luasan tertentu pada bagian pelat yang dibatasi balok di sekelilingnya.



Gambar 2.2. Pelat satu arah

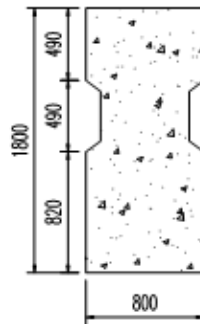


Gambar 2.3. Pelat dua arah

Apabila panjang panel ini besarnya dua kali lebar atau lebih disebut Pelat satu Arah, yang mana hampir semua beban lantai menuju balok-balok dan hanya sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Tulangan Utama untuk pelat satu arah sejajar dengan gelagar dan tulangan susut sejajar dengan balok-balok. Disebut sebagai Pelat dua arah apabila Perbandingan Panjang dengan lebar Panel pelat kurang dari 2. Penyelesaian pelat satu arah dalam hal ini sama dengan perhitungan balok, sedangkan untuk penyelesaian pelat 2 arah persyaratan baik ketebalan maupun penulangan dijelaskan didalam SNI 03 2847 2002 pasal 15.

2.3.2 Perencanaan Balok Beton bertulang dan Balok Guideway Pratekan

Guideway Beam monorail adalah struktur untuk menentukan jalannya monorail yang akan memandu jalannya kereta mengikuti alinyemen yang terbentuk. Karakteristik alinyemen yang ada harus dapat di adaptasi oleh guideway beam yang akan membawa kereta. Baik atau tidaknya sruktur guideway beam yang didesain akan mempengaruhi jalannya kereta yang akan melintas.



Gambar 2.4. Guideway beam

Perencanaan guideway beam menggunakan beton pratekan dikarenakan bentangnya yang lumayan panjang serta bebannya yang besar sehingga perencanaan dengan menggunakan beton prategang sangat cocok untuk balok guideway.

Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan yang di akibatkan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan. Pada batang beton bertulang, prategang pada umum nya diberikan dengan menarik baja tulangnya. (Buku Beton Prategang, Krishna raju)

2.3.2.1 Istilah umum yang dipakai dalam studi mengenai beton pratekan, ialah :

- ✓ *Tendon* : suatu unsur yang direntangkan yang dipakai dalam suatu batang struktur beton untuk memberi pratekanan pada beton. Pada umumnya, akwat-kawat, batang-batang, atau kabel-kabel yang terbuat dari baja bertegangan tinggi, dipakai sebagai tendon.

- ✓ *Angker* : suatu alat yang umumnya dipakai untuk memungkinkan tendon memberikan dan memelihara pratekanan di dalam beton.
- ✓ *Pre-tensioning* : suatu metoda untuk memberi pratekanan beton dimana tendon ditarik sebelum beton dicor. Di dalam metoda ini pratekanan diberikan kepada beton oleh adanya ikatan antara baja dan beton.
- ✓ *Post-tensioning* : suatu metoda untuk memberi pratekanan beton dengan menarik tendon terhadap beton yang telah mengeras. Di dalam metoda ini, pratekanan diberikan kepada beton oleh pemikulan.
- ✓ *Beton pratekan yang melekat* : beton dimana pratekan diberikan kepada beton melalui pelekatan (bond) antara tendon dan beton sekelilingnya. Batang-batang dengan pre-tensioning termasuk dalam kelompok ini.
- ✓ *Beton pratekan yang tidak melekat* : suatu metoda konstruksi dimana tendon tidak melekat pada beton sekelilingnya. Tendon-tendon dapat ditempatkan di dalam saluran-saluran yang dibentuk dalam batang beton atau dapat ditempatkan di luar penampang beton.
- ✓ *Pratekanan penuh* : Beton pratekan dimana tegangan-tegangan tarik dalam beton ditiadakan seluruhnya pada beban kerja dengan mendapatkan pratekanan yang cukup tinggi dalam batang-batang.
- ✓ *Pratekanan parsial atau terbatas* : derajat pratekanan yang diberikan kepada beton dimana tegangan-tegangan tarik sampai tingkat tertentu diperkenankan dalam beton pada beban kerja. Dalam hal ini, sebagai tambahan

terhadap baja yang ditarik, tulangan yang tidak ditarik dalam perbandingan yang cukup besar pada umumnya dipakai untuk membatasi retak-retak yang timbul di bawah beban kerja.

- ✓ *Rangkak (creep)* : penambahan secara bertahap dalam deformasi tidak elastis dari beton di bawah komponen tegangan terus-menerus.
- ✓ *Susut beton* : kontraksi beton pada proses pengeringan.

2.3.2.2 Keuntungan Beton Pratekan

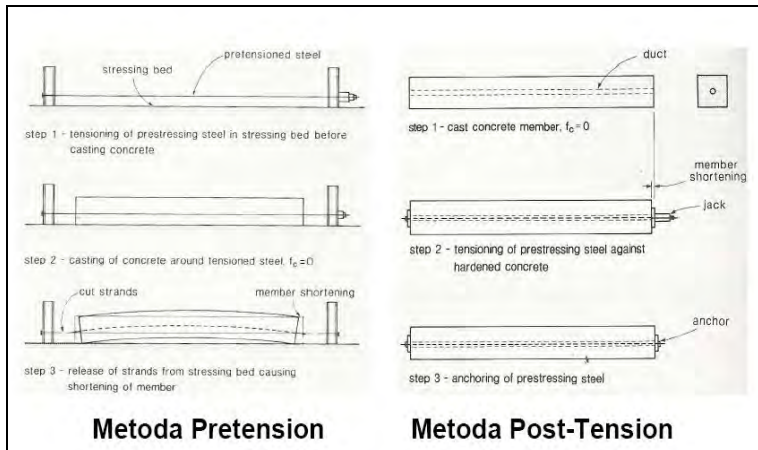
Beton pratekan memberikan keuntungan-keuntungan teknis dasar dibandingkan dengan bentuk-bentuk konstruksi lainnya, seperti beton bertulang dan baja yaitu :

1. Suatu batang lentur beton pratekan menjadi lebih kaku pada beban-beban kerja daripada suatu batang beton bertulang dengan tinggi yang sama. Namun, setelah permulaan retak, maka sifat suatu batang pratekan adalah sama dengan beton bertulang.
2. Pemakaian beton dan baja berkekuatan tinggi dalam batang-batang pratekan menghasilkan batang-batang yang lebih ringan dan lebih langsing daripada pemakaian beton bertulang.
3. Kedua ciri-ciri struktural beton pratekan yaitu beton berkekuatan tinggi dan bebas dari retak, maka dari itu dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan keawetan struktur pada kondisi lingkungan yang agresif.
4. Pada bentang panjang, beton pratekan umumnya lebih ekonomis dibandingkan dengan konstruksi beton bertulang dan baja, karena turunnya beban mati yang dapat mengurangi beban-beban rencana dan biaya pondasi.

2.3.2.3 Metode Pratekan

Untuk memberikan tekanan pada beton pratekan dilakukan sebelum atau setelah beton dicetak/dicor. Kedua

kondisi tersebut membedakan sistem pratekan, yaitu Pre-Tension (pratarik) dan Post-Tension (pascatarik).



Gambar 2.5. Metoda Pre-tension dan Post-Tension

A. Metode Pre-Tension

Adalah sistem pemberian gaya prategang pada beton pratekan dengan menarik baja prategang (tendon) terlebih dahulu sebelum dilakukannya pengecoran. Cara ini sering digunakan di laboratorium atau pabrik beton pracetak (PreCast Prestressed Concrete) dimana terdapat lantai penahan tarikan yang tetap atau di lapangan dimana dinding penahan dapat dibuat secara ekonomis.

Langkah – langkah sistem pemberian gaya prategang secara pratarik yaitu :

1. Tendon diregangkan diatas landasan (stressing bed) pracetak berupa slab beton dengan lay out yang disesuaikan menurut perencanaan dan dipasang atau diangker ke dinding penahan

(*bulkhead*) yang didesain untuk menahan gaya prategang yang besar. Tegangan ijin maksimum terhadap gaya prategang yang diberikan pada tendon menurut peraturan ACI dan AASHTO adalah sebesar 94 % dari kuat leleh tendon tetapi tidak lebih besar daripada yang terkecil antara 80 % kuat tariknya dengan nilai maksimum yang disarankan oleh pembuat jangkar atau tendon prategang.

2. Kemudian beton dicor dengan menuangkan adukan beton yang telah disiapkan sesuai dengan spesifikasi dan mutu yang direncanakan ke dalam bekisting yang mengelilingi tendon.

3. Setelah beton mengeras dan mencapai tingkat kekuatan tertentu, pada umumnya sekitar 1-2 hari, baru tendon dipotong pada kedua ujungnya. Pada kondisi awal ini beton harus mampu memikul tegangan yang diakibatkan oleh gaya prategang, sedangkan tegangan akibat berat sendiri gelagar pada umumnya tidak terlalu berpengaruh dikarenakan konstruksi ini dikerjakan di pabrik dan balok bertumpu pada seluruh bentangnya. Ketika tendon dipotong, transfer (peralihan) gaya prategang dari tendon kepada beton terjadi karena ikatan atau lekatan (*bond*) antara tendon dengan beton. Keadaan ini merupakan keadaan yang paling kritis yang dihadapi oleh beton maupun tendon karena keduanya memikul tegangan tertinggi yang akan terjadi selama waktu manfaat struktur tersebut. Gaya prategang yang diberikan mengakibatkan beton dalam keadaan tertekan dan memendek jika letak tendon konsentris yaitu berada pada titik berat penampang beton (*cgc-center gravity of concrete*) atau cenderung melengkung apabila tendon diletakkan diatas atau dibawah titik berat penampang (*eksentris*).

4. Dan setelah memenuhi persyaratan serta cukup kuat untuk dipindahkan, beton dilepas dari bekistingnya dan landasan kerja siap untuk digunakan lagi. Batasan yang diberikan ACI terhadap tegangan atau tegangan ijin maksimum yang terjadi sesaat setelah transfer gaya prategang pada bagian serat terluar yang mengalami tegangan tekan adalah sebesar $0,6f'_ci$ dan pada bagian serat terluar yang mengalami tegangan tarik sebesar $3\sqrt{f'_ci}$ kecuali pada ujung balok yang ditumpu sederhana sebesar $6\sqrt{f'_ci}$. Apabila tegangan tarik yang dihitung melebihi nilai yang tercantum, maka penulangan lekatan tambahan baik non prategang ataupun prategang harus digunakan untuk menahan gaya tarik total yang dihitung dengan asumsi penampang tak retak.

B. Metode Post-Tension (Pasca Tarik)

Adalah sistem pemberian gaya prategang pada beton yang metodenya dilakukan dengan cara menarik baja prategang (tendon) setelah balok dicor dan mencapai sebagian besar dari kuat betonnya. Adapun langkah –langkah pemberian gaya prategang secara pasca tarik dibagi menjadi beberapa tahap :

1. Bekisting untuk beton prategang dipasang bersama dengan pipa saluran (duct) yang akan digunakan untuk menempatkan tendon dan di susun sedemikian rupa agar tata letak atau layout pipa saluran tersebut membentuk desain tertentu sesuai dengan momen lawan yang akan diciptakan.
2. Kemudian beton dicor dengan menuangkan adukan beton yang telah disiapkan sesuai dengan spesifikasi dan mutu yang direncanakan ke dalam bekisting, dan pipa saluran dijaga agar tidak kemasukan adukan tersebut. Setelah itu dilakukan perawatan terhadap beton selama beberapa waktu hingga mencapai sebagian besar kekuatan betonnya.

3. Tendon dimasukkan ke dalam pipa saluran (duct) yang telah disiapkan sebelumnya dan diangkur mati pada salah satu ujungnya, lalu tendon ditarik dengan menggunakan dongkrak hidrolik pada ujung yang lain untuk mendapatkan gaya prategang pada tendon sesuai dengan besar gaya prategang yang direncanakan. Pemberian gaya prategang pada konstruksi ini dilakukan di lapangan dan transfer (peralihan) tegangan dari tendon ke beton terjadi karena penjangkaran pada ujung penampang beton. Di kondisi awal ini beton harus mampu memikul tegangan yang diakibatkan oleh gaya prategang dan berat sendiri gelagar. Pada sistem pasca tarik kehilangan tegangan sudah terjadi sejak penarikan tendon dimulai yang diakibatkan oleh angkur slip, gesekan antara tendon dengan pipa saluran (duct), dan perpendekan elastis beton jika terdapat lebih dari satu tendon dengan penarikan yang dilakukan secara berurutan. Tegangan ijin maksimum yang diberikan sama dengan tegangan – tegangan ijin maksimum pada beton prategang pratarik baik pada saat transfer tegangan maupun pada saat kondisi beban kerja setelah semua kehilangan tegangan terjadi.
4. Pada pipa saluran tempat tendon diletakkan masih terdapat rongga di sekeliling tendon, oleh karena itu perlu diisi dengan bahan suntikan semen (grouting) yang sesuai untuk memberikan proteksi permanent dan meningkatkan lekatan antara tendon dengan beton di sekelilingnya. Dan jika tidak direkatkan dengan grouting perlindungan pada tendon pasca – tarik harus dilakukan dengan melapisinya dengan bahan pelindung seperti minyak atau bahan – bahan lainnya.

2.3.3 Perencanaan Pilar Precast

Struktur kolom pilar didesain menggunakan beton pracetak yang terbuat dari spun pile yang didalamnya diisi beton bertulang. Hubungan spun pile dengan pile cap dilakukan pengelasan.

Perencanaan beton precast berdasarkan peraturan “Tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung (SNI 7833-2012)”

Precast atau beton pracetak merupakan bahan beton yang telah dibuat di pabrik dan merupakan bentuk konstruksi, dimana beton yang dicetak kemudian dirawat lalu diangkut dan dipasang ke tempatnya sebagai konstruksi. Beton dituangkan ke dalam bentuk yang spesifik dan dibawa untuk dipasang di lokasi.



Gambar 2.6. Beton Precast.

2.3.3.1 Persyaratan yang berlaku untuk beton pracetak di atur dalam SNI 7833-2012 sebagai berikut :

- ✓ Desain komponen struktur beton pracetak dan sambungan-sambungan harus mencakup kondisi pembebanan dan kekangan dari saat pabrikasi awal sampai akhir penggunaan pada struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan dan ereksi. (SNI 7833-2012 pasal 4.2.1)
- ✓ Apabila komponen struktur pracetak dihubungkan ke dalam sistem structural, maka gaya dan deformasi yang terjadi dalam dan berdekatan dengan sambungan harus diperhitungkan dalam desain. (SNI 7833-2012 pasal 4.2.2)
- ✓ Toleransi untuk komponen struktur pracetak dan komponen struktur penghubung harus ditetapkan. Desain komponen struktur pracetak dan sambungan-sambungan

harus mencakup efek toleransi tersebut. (SNI 7833-2012 pasal 4.2.3)

- ✓ Selain persyaratan untuk gambar dan spesifikasi dalam pasal 1.2, persyaratan (a) dan (b) harus dicakup dalam dokumen kontrak atau gambar kerja sebagai berikut :
 - a. Detail tulangan, sisipan, dan perangkat yang diperlukan untuk menahan beban sementara dari penanganan, penyimpanan, pengangkutan, dan ereksi;
 - b. Kekuatan beton perlu pada umur yang ditetapkan, atau pada tahapan-tahapan pelaksanaan konstruksi.
(SNI 7833-2012 pasal 4.2.4)

- ❖ Distribusi gaya di antara komponen struktur (SNI 7833-2012 pasal 4.3.) :
 - ✓ Distribusi gaya yang tegak lurus bidang komponen struktur harus ditetapkan dengan analisis atau dengan pengujian.
 - ✓ Apabila perilaku sistem mensyaratkan gaya-gaya di dalam bidang disalurkan antara komponen-komponen struktur dari sistem lantai pracetak atau sistem dinding, maka struktur harus mengikuti persyaratan di bawah ini :
 - Alur gaya dalam bidang harus menerus melalui sambungan dan komponen struktur.
 - Apabila terjadi gaya tarik, alur menerus dari baja atau tulangan baja harus disediakan.

- ❖ Integritas Struktur (SNI 7833-2012 pasal 4.5.)
 - ✓ Senggang pengikat longitudinal dan transversal yang harus menghubungkan komponen struktur kepada suatu sistem penahan beban lateral.
 - ✓ Untuk konstruksi beton pracetak, senggang pengikat tarik harus disediakan pada arah transversal, longitudinal dan vertikal dan sekeliling perimeter struktur untuk mengikat elemen struktur secara efektif. Ketentuan 4.5 harus diterapkan.
 - ✓ Apabila elemen pracetak membentuk diafragma lantai atau atap, maka sambungan antara diafragma dan komponen struktur yang didukung secara lateral harus mempunyai kekuatan tarik nominal yang mampu menahan tidak kurang dari 4,4 kN per meter linier.
 - ✓ Persyaratan senggang pengikat tarik vertical harus diterapkan padasemua komponen struktural vertikal, kecuali kulit bangunan gedung (cladding), dan harus dicapai dengan penyediaan sambungan pada joint horisontal sesuai dengan (a) sampai (c):
 - a. Kolom pracetak harus memiliki kekuatan nominal tarik tidak kurang dari $A_g 1,4$,dalam lbUntuk kolom dengan penampang melintang yang lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan pertimbangan pembebanan, boleh menggunakan luas efektif tereduksi A_g , berdasarkan penampang melintang yang diperlukan tetapi tidak kurang dari setengah luas total;
 - b. Panel dinding pracetak harus memiliki minimum dua senggang pengikat per panel, dengan kekuatan tarik nominal tidak kurang dari 44 k Nper senggang pengikat;

- c. Apabila gaya-gaya desain tidak menimbulkan tarik di dasar struktur, maka sengkang pengikat yang diperlukan 4.5.1.3 (b) boleh diangkurkan ke dalam pelat lantai beton bertulang di atas tanah yang tersedia.

2.3.3.2 Sistem Koneksi Pada Beton Pracetak

Ada beberapa sistem koneksi pada beton pracetak agar dapat menyatu dengan bagian struktur lainnya dan menjadi satu kesatuan.

❖ Sambungan

Pada umumnya sambungan pada beton pracetak dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sambungan yang pada saat pemasangan langsung menerima beban akibat berat sendiri komponen.
2. Sambungan yang pada saat tahap akhir pelaksanaan harus menerima beban-beban yang selama pemasangan dipikul oleh pendukung pembantu seperti perancah (*scaffolding*).
3. Sambungan dimana tidak ada persyaratan ilmu gaya akan tetapi harus memenuhi persyaratan lain seperti : kekedapan air, kekedapan suara, dsb.
4. Sambungan-sambungan tanpa persyaratan konstruktif dan semata-mata menyediakan ruang gerak untuk pemasangan atau perakitan.

❖ Ikatan

Cara mengikatkan suatu komponen beton pracetak terhadap bagian struktur lainnya supaya menjadi satu kesatuan secara prinsip adalah sebagai berikut.

1. Ikatan Cor (*Insitu Concrete Joint*)

Penyaluran gaya antar elemen struktur melalui beton yang di-cor-kan. Dimana diperlukan penunjang atau pendukung seperti perancah selama pemasangan sampai beton cor mengeras.

2. Ikatan Baja

Bahan pengikat yang dipakai yaitu plat baja dan angkur. Sistem ikatan ini cara penyambungannya dibedakan menjadi dua yaitu: penyambungan dengan cara di las (*Welded Steel*), dan penyambungan dengan baut atau ulir (*Corbel Steel*).

3. Ikatan Tegangan

Merupakan perkembangan lebih jauh dari ikatan baja dengan memasukkan unsur pratekan yaitu *post-tension* dalam sistem koneksi.

2.4 PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH

Pondasi adalah struktur bangunan bagian bawah yang berfungsi meneruskan gaya dari segala arah bangunan di atasnya ke tanah. Dengan demikian pembangunan pondasi harus dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat pondasi itu sendiri, beban-beban berguna, dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi, dan lain-lain.

Secara umum terdapat dua macam pondasi, Yaitu:

1. Pondasi Dangkal : dipakai untuk bangunan bertanah keras atau bangunan-bangunan sederhana.
2. Pondasi Dalam : dipakai untuk bangunan bertanah lembek, bangunan berbentang lebar (memiliki jarak kolom lebih dari 6 meter), dan bangunan bertingkat.

Yang termasuk Pondasi dangkal antara lain:

- Pondasi batu kali setempat
- Pondasi lajur batu kali
- Pondasi tapak atau plat beton setempat
- Pondasi beton lajur
- Pondasi Strauss
- Pondasi tiang pancang kayu

Yang termasuk pondasi dalam antara lain :

- Pondasi tiang pancang (beton, besi, pipa baja)
- Pondasi sumuran
- Pondasi Bored Pile
- Dll

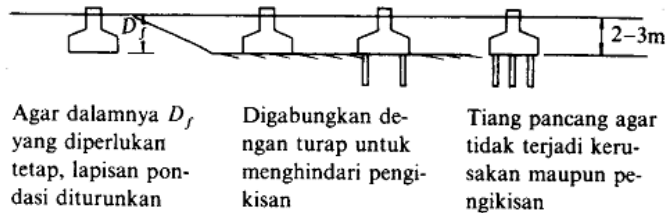
untuk memilih pondasi yang memadai perlu diperhatikan apakah pondasi tersebut cocok untuk berbagai kondisi di lapangan dan apakah pondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan tersebut ikut dipertimbangkan dalam menentukan macam pondasi, hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan.

1. Keadaan tanah pondasi
2. Batasan-batasan akibat konstruksi diatasnya (*superstructure*)
3. Batasan-batasan dari sekelilingnya
4. Waktu dan biaya pekerjaan

Dari hal-hal di atas, jelas bahwa keadaan tanah pondasi pada nomor 1 merupakan keadaan paling penting dan perinciannya. Berikut ini diuraikan jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan.

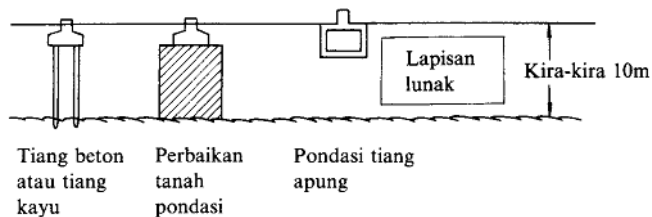
- a) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah (lihat

gambar 2.9): Dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak (*spread foundation*).



Gambar 2.7. Contoh-contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi cukup dangkal

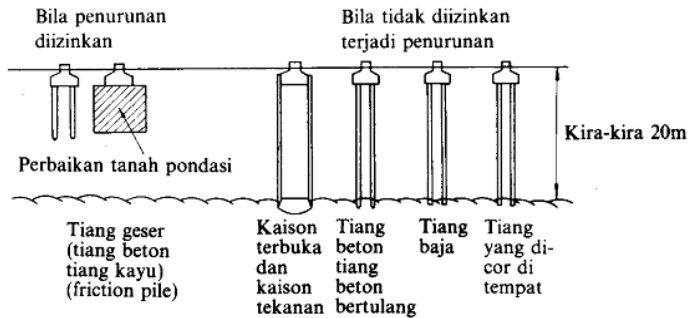
- b) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 10 meter di bawah permukaan tanah: Dalam hal ini, dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi, seperti yang terlihat pada gambar 2.10. Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor ditempat (*cast in place*) kurang kurang ekonomis, karena tiang-tiang tersebut kurang panjang.



Gambar 2.8. Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 m di bawah permukaan tanah

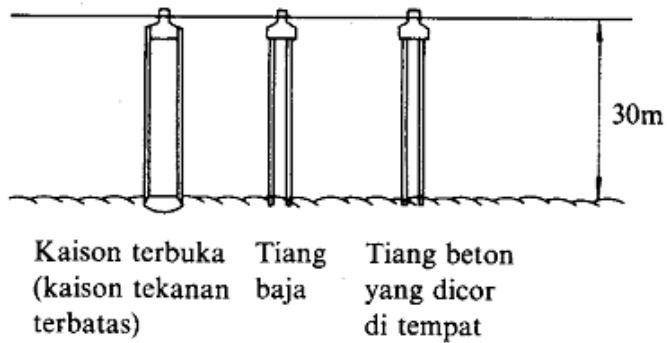
- c) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 20 meter di bawah permukaan tanah: Dalam hal ini,

tergantung dari penurunan tanah (*settlement*) yang diizinkan, dapat dipakai jenis pondasi seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.11. A pabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*). Tetapi bila terdapat batu besa (*cobble stones*) pada lapisan antara, pemakaian kaisan lebih menguntungkan.



Gambar 2.9. Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 m di bawah permukaan tanah

- d) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter di bawah permukaan tanah: Biasanya dipakai kaisan terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat, seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.12. tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^2 digunakan juga kaisan tekanan.



Gambar 2.10. Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 m di bawah permukaan tanah

- e) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 40 meter di bawah permukaan tanah: Dalam hal ini, yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya (pada nomor 2) juga penting. Haruslah diamati pula kondisi beban (besar, penyebaran, arah, dll), sifat dinamis bangunan atas (statis tertentu atau statis tak tentu, kekakuan dan sebagainya), kegunaan dan kepentingan bangunan atas, kesulitan pemeliharaan dan bahan-bahan untuk bangunan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI

Penyusunan Metodologi bertujuan untuk memperoleh pemecahan masalah sesuai dengan tujuan studi yang telah ditetapkan melalui prosedur kerja yang sistematis, teratur, dan tertib, sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Adapun metodologi atau langkah-langkah dalam perencanaan struktur track dan switch monorail Bandara Soekarno-Hatta adalah sebagai berikut.

3.1 Pengumpulan Data & Studi Literatur

Data dan studi literatur yang dibutuhkan untuk perencanaan antara lain adalah sebagai berikut dengan beberapa data diantaranya yang telah didapat yaitu:

1. Gambar Layout rencana monorail
 - layout
 - Gambar konsep desain pilar monorail
 - Gambar konsep desain switchpoint
2. Data tanah
 - Log Bor BH-2 Bandara SOETTA (Soekarno Hatta)
3. Kriteria desain pembebanan monorail
 - *Design Criteria of Civil Construction of APM Bandara SOETTA Guideway*
4. Peraturan dan buku penunjang sebagai dasar teori maupun pendukung :
 - RSNI 03-2847-2012 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
 - SNI 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung

- RSNI3 03-1727-20XX Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain
- ACI 318-11 *Building Code Requirements for Structural Concrete*
(ACI 318-11) *and Commentary*
- RSNI 2833-2013 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa
- Desain Struktur Beton Prategang, T. Y. Lin & Ned H. Burns
- Beton Prategang, N. Khrisna Raju
- Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa, Prof. Ir. Rachmat Purwono, M.Sc
- Brosur Tendon VSL
- Mekanika Tanah & Teknik Pondasi, Dr. Ir. Suyono Sosrodarsono & Kazuto Nakazawa

Adapun data teknis perencanaan struktur track dan switch monorail adalah sebagai berikut.

A. Data Proyek.

- Nama Proyek : APM (Automated People Mover System) Bandara SOETTA
- Lokasi : Bandara Soekarno Hatta, Cengkareng, Jakarta
- Zona Gempa : Zona 3

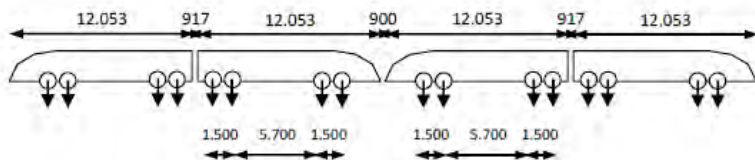
B. Data Bahan :

- Kekuatan tekan beton (f'_c) = 50 MPa
- Kekuatan leleh baja (f_y) 240 Mpa atau BJ 37
- Strand Beton Pratekan sesuai standar VSL

C. Data Formasi Kereta Monorel

Kereta Monorail yang digunakan pada Bandara Soekarno – Hatta adalah kereta INKA APM yang diproduksi oleh PT.INKA yang berkedudukan di Madiun, Jawa Timur.

Formasi roda kereta yang akan lewat di atas monorail adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Formasi Roda Kereta

D. Data Dimensi Kereta Monorel

- Panjang Kereta : 12053 mm
- Lebar Kereta : 2700 mm
- Tinggi Kereta : 3837 mm diukur dari permukaan lintasan (track) sampai bagian atas Kereta
- 5073 mm diukur dari dasar Skirt sampai bagian atas Kereta
- Jarak antara 2 Kereta : 917 mm
- Jarak antara 2 Bogie : 7200 mm
- Jarak As Bogie : 1500 mm
- Kecepatan Maximum : 60 km/jam (Track Lurus)
- Percepatan : 3,6 km/jam/det
- Perlambatan : 3,6 km.jam/det

- Kelengkungan Track Horizontal : 60 m
- Kelengkungan Track Vertikal : 1000 m
- Gradien Maximum : 6%

3.2 Disain Permulaan (*Preliminary Design*)

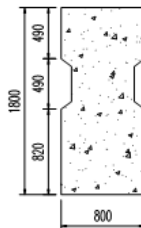
Disain awal atau permulaan penentuan dimensi struktur didasarkan pada peraturan yang digunakan yaitu SNI 03-2847-2002 untuk struktur beton bertulang maupun pratekan. Selain itu, penentuan dimensi juga didasarkan pada data gambar konsep desain yang didapat dari pemilik proyek, dimana dimensi struktur tersebut telah dipertimbangkan dengan matang.

3.3 Konsep Desain Struktur

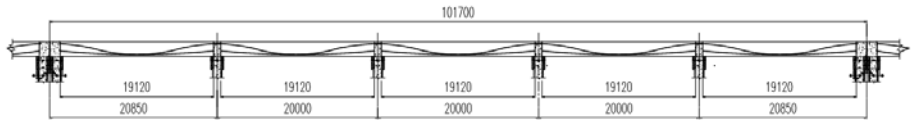
3.3.1 Struktur Balok Guideway

Struktur monorail ini terdiri dari struktur pilar yang terbuat dari beton yang kemudian akan dirangkai dengan pier head dan balok guideway dengan system beton pratekan-pracetak yang akan diirection dari bawah kemudian akan dicor menjadi satu kesatuan balok pratekan menerus yang terdiri dari 5 bentang balok guideway sepanjang 20 m.

Sesuai dengan tipe kereta yang akan melewati balok guideway, desain balok guideway akan memiliki dimensi 800 mm x 1800 mm, panjang 20000 mm dan jarak antar balok guideway sebesar 4250 mm.



Gambar 3.2. Desain balok guideway.

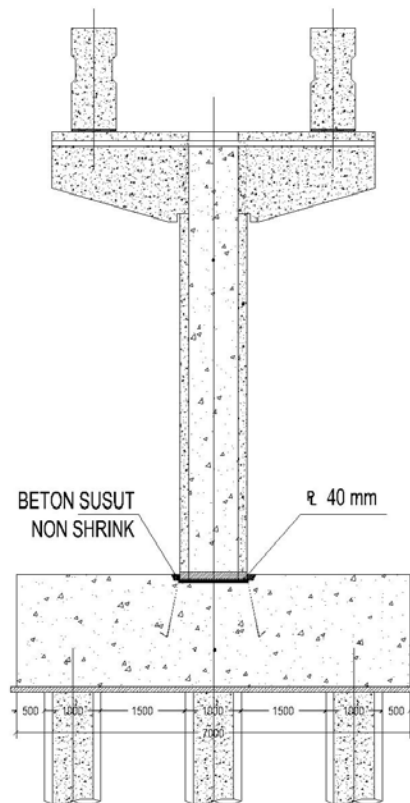


Gambar 3.3. Desain Pratekanan balok guideway tiap 100 meter.

3.3.2 Struktur Pier head, Kolom dan Pile cap

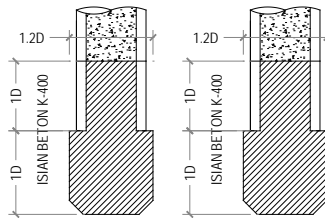
Struktur Pierhead untuk lintasan lurus dan simetris didesain dengan sistem beton Pracetak – Pratekan, Pierhaead yang dibuat pracetak dimana bagian tengahnya dibuat berlubang dan diletakkan diatas kolom pracetak dari Spun Pile, dan kemudian dilakukan pengecoran untuk mengisi kolom sampai ke permukaan atas pierhead yang dilengkapi dengan penulangan sampai ke atas. Untuk menahan momen lentur pada kantilever, maka dilakukan pratekanan di bagian atas pierhead.

Struktur kolom pilar didesain menggunakan beton pracetak yang terdiri dari spun pile yang didalamnya diisi beton bertulang. Hubungan spun pile dengan pile cap dilakukan pengelasan. Berikut desain preliminary hubungan antara kolom dengan pile cap.



Gambar 3.4. Desain Hubungan antara kolom dan pile cap

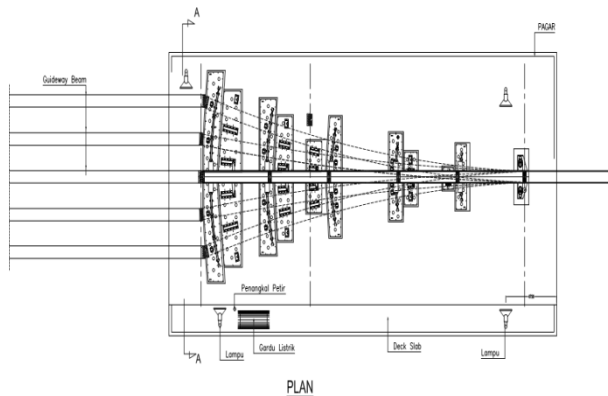
Pile Cap dibuat dari beton bertulang dengan mutu beton K-400, sedangkan untuk pondasi menggunakan spun pile yg ujung tiang nya berlubang dan diisi dengan beton bertulang.



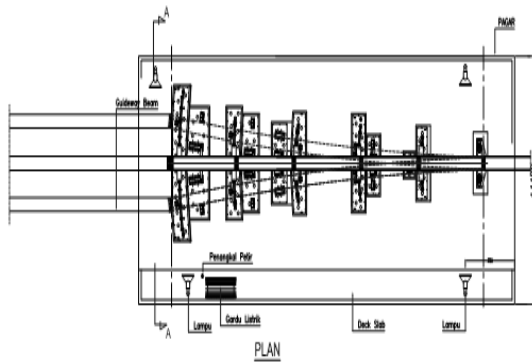
Gambar 3.5. Ujung spun pile

3.3.3 Struktur Switch

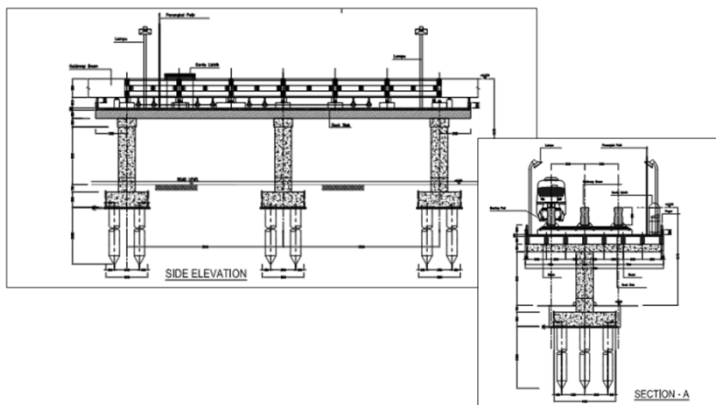
Switchpoint merupakan suatu bangunan struktur yang memfasilitasi track monorel untuk berpindah jalur. Pada tugas akhir ini tipe switch yang akan direncanakan adalah switch tipe 3 in 1 dan 5 in 1 seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.6. Switch 5 in 1



Gambar 3.7. Switch 3 in 1



Gambar 3.8. Potongan Memanjang dan Melintang Switch 3 in 1

3.4 Analisis Pembebanan

➤ **Beban Umum**

1. Beban Mati (berat sendiri struktur)
2. Beban Hidup (PPIUG 1987)
3. Beban Angin (PPIUG 1987)
4. Beban Gempa (RSNI 2833-2013)

1. Beban Kereta Monorail (pada jalur atau track monorail)
2. Beban pada Switch
3. Gaya sentrifugal , dll

3.4.1 Beban Umum

Beban Umum merupakan beban yang umumnya terjadi pada sebuah struktur bangunan seperti beban mati yang merupakan berat sendiri dari struktur bangunan tersebut, beban hidup yang merupakan beban bergerak pada struktur bangunan tersebut, beban angin dan juga beban gempa, adapun beban gempa akan dijelaskan sebagai berikut.

Beban gempa dihitung sesuai dengan peraturan RSNI 2833-2013 (Perencanaan Jembatan Terhadap beban Gempa).

3.4.1.1 Kepentingan Operasional

Pemilik pekerjaan dapat menetapkan suatu jembatan atau elemen struktur dan sambungannya sebagai prioritas operasional. Pengklasifikasian harus dilakukan oleh

otoritas yang berwenang terhadap jaringan transportasi dan mengetahui kebutuhan operasional.

Untuk kondisi batas ultimit maka :

$\eta_I = 1,05$ untuk jembatan penting atau sangat penting

$\eta_I = 1,00$ untuk jembatan tipikal

$\eta_I = 0,95$ untuk kurang penting

Untuk kondisi batas lain termasuk kondisi batas ekstrim (gempa) maka : $\eta_I = 1$

3.4.1.2 Besaran Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Keterangan:

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastik pada moda getar ke-m

R adalah faktor modifikasi respons

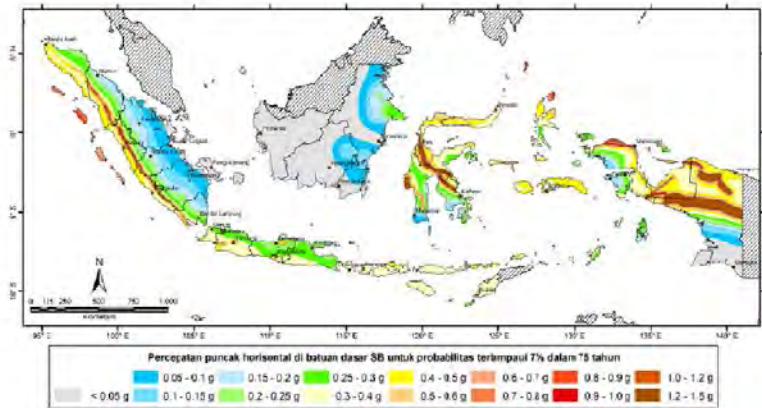
W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

3.4.1.3 Peta Gempa

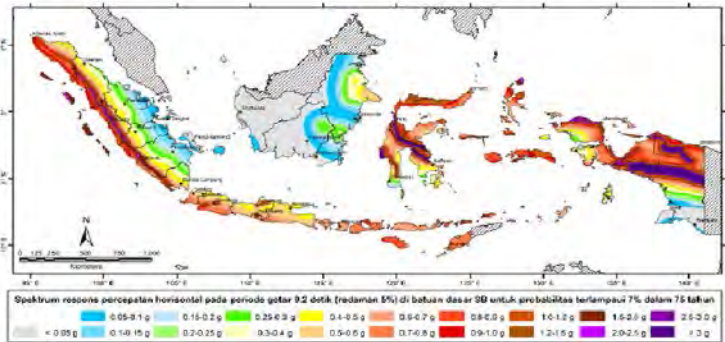
Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) dan respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili dua level hazard (potensi bahaya) gempa 500 dan 1000 dengan kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun dan 7% dalam 75 tahun. Penjelasan untuk masing-masing peta dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penjelasan Peta Gempa 2010

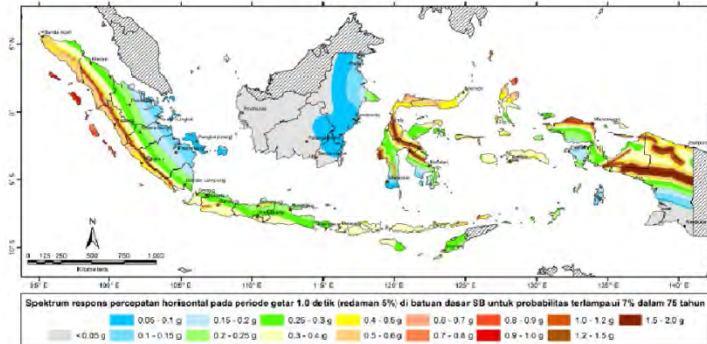
1	Gambar 3.9	7% dalam 75 tahun (1000 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
2	Gambar 3.10		Peta respons spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar (S_s)
3	Gambar 3.11		Peta respons spektra percepatan 1.0 detik di batuan dasar (S_1)



Gambar 3.10. Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



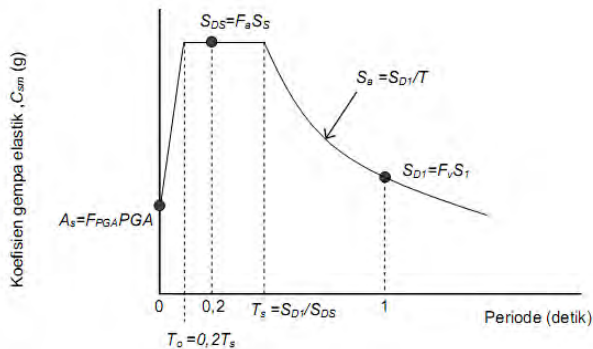
Gambar 3.11. Peta respons spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar 3.12. Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

3.4.1.4 Respons Spektrum Rencana

Respons spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respons spektra dibuat dalam bentuk respons spektra yang sudah disederhanakan.



Gambar 3.13. Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan Tanah

$$A_s = F_{PGA} \times PGA$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1$$

Respons spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA, SS dan S1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v .

Keterangan:

SDS adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T=0.2$ detik).

SD1 adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

$$T_0 = 0.2 T_s$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{D2}}$$

3.4.1.5 Kategori Kinerja Seismic

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (SD1) sesuai Tabel 3.2. Kategori tersebut menggambarkan variasi risiko seismik dan digunakan untuk penentuan metode analisis, panjang tumpuan minimum, detail perencanaan kolom, dan prosedur desain fondasi dan kepala jembatan.

Tabel 3.2. Zona Gempa

Koefisien percepatan (S_{D1})	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

Catatan : $SD1 = F_v \times S1$

$SD1$ adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

F_v adalah nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

$S1$ adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 2.8)

3.4.1.6 Faktor Modifikasi Respons

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respons (R) sesuai dengan Tabel 3.3.

Sebagai alternatif penggunaan faktor R pada Tabel 7 untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur atau struktur, seperti hubungan kolom ke fondasi telapak dapat direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk yang berhubungan.

Tabel 3.3. Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 3.4. Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antar elemen struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

3.4.2 Beban Khusus

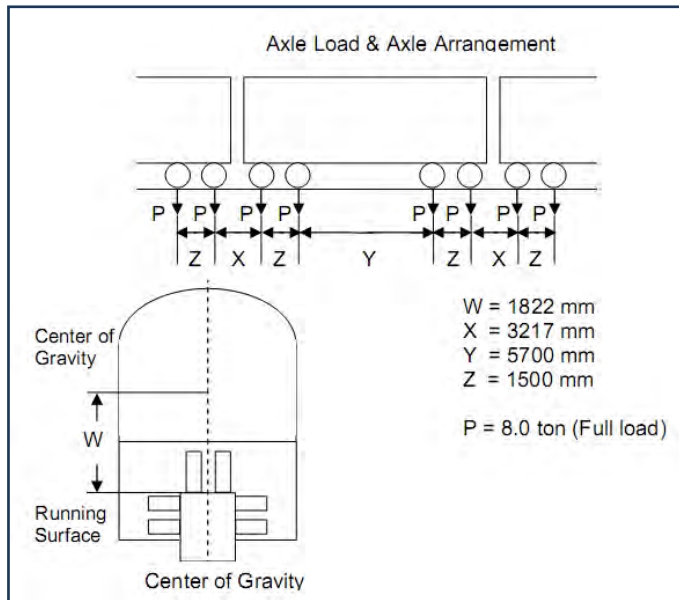
Adapun beban khusus adalah beban dari kereta monorail sesuai dengan *Design Criteria of Civil Construction of APM Bandara SOETTA Guideway* sebagai berikut.

3.4.2.1 Data Pembebanan Kereta (Monorail)

1. Beban Gandar

Beban gandar & penempatannya dan garis netral didefinisikan di bawah ini yang ditunjukkan pada gambar 3.1:

(Pengaturan kopling tak terbatas kereta harus dipertimbangkan dalam desain *guideway* atau jalur monorail)



Gambar 3.14 Beban Gandar & Garis Netralnya

2. Beban Vertikal

Ketentuan beban vertikal yang bekerja harus dikalikan faktor kejut yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$(i) = \frac{20}{50 + L}$$

Dimana,

L = bentang balok (m)

3. Beban Horisontal

a) Beban Lateral Kendaraan

Beban lateral yang disebabkan oleh gerakan mengular kendaraan harus satu-poros dengan beban terpusat dan bergerak tegak lurus dan

horizontal searah sumbu track pada puncak permukaan berjalan. Dampak dari beban tersebut sebesar 25% dari beban gandar tunggal yang dirancang untuk kendaraan.

$$F_1 = P \times \mu_1$$

Dimana,

P = Beban Gandar

μ_1 = Koefisien gaya lateral = 0,25

b) Beban Angin

Beban angin dihitung berdasarkan kondisi di Indonesia dengan perumusan sebagai berikut.

$$F_w = A \times N_w$$

Dimana,

A = Permukaan lateral kereta atau monorail (m^2)

N_w = Beban angin sesuai kondisi di Indonesia atau lokasi (kg/m^2)

= 40 kg/m^2 (pada kecepatan angin = 80 km/jam)

4. Beban Longitudinal Akibat Gerakan Awal Kereta

Beban longitudinal yang perlu diperhitungkan adalah terdiri dari gaya saat kereta mulai bergerak (Starting Load) dan gaya Rem. Adapun gaya – gaya tersebut dapat diperhitungkan dengan dengan ketentuan sebagai berikut :

a) Starting Load

Starting Load harus dipertimbangkan dalam arah longitudinal lintasan (Track) yang bekerja pada pusat berat Kereta.

b) Gaya Rem

Gaya rem harus diperhitungkan bekerja dengan arah longitudinal lintasan dengan posisi pada pusat berat dari Kereta. Besarnya dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$F_{decel} = m \times a$$

$$m = 128.000 \text{ kg}$$

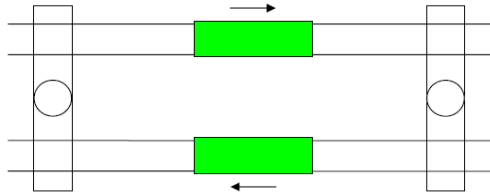
$$a = 1 \text{ m/s}^2$$

$$F_{decal} = 128.000 \text{ N} = 12800 \text{ kg}$$

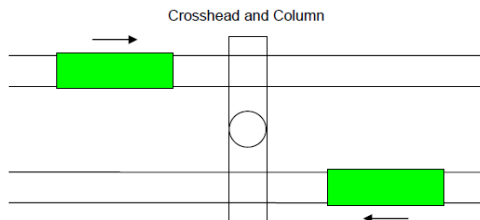
Pada beban gandar bekerja = $0,15 \times 12800 = 1920 \text{ kg}$

3.4.2.2 Kondisi Beban Monorel

Beban kereta yang diperhitungkan untuk menentukan kekuatan struktur monorail adalah sebagai berikut :

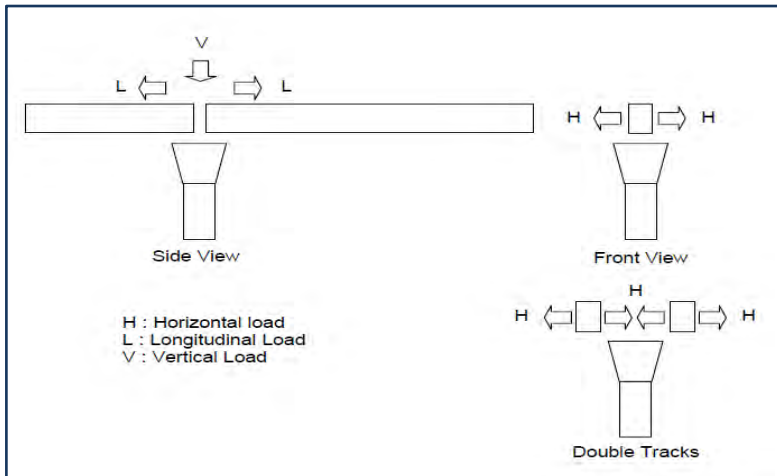


Gambar 3.15. Kondisi Beban Kereta Alternatif 1



Gambar 3.16. Kondisi Beban Kereta Alternatif 2

Beban kereta tersebut harus diperhitungkan beban penuh sebesar 128 Ton. Sedangkan beban yang bekerja pada pilar harus diperhitungkan sebagai berikut :



Gambar 3.17. Kondisi Beban Pada Pilar

3.5 Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan program komputer SAP2000. Dari analisis tersebut akan didapatkan gaya dalam akibat kombinasi pembebanan pada struktur yang nantinya digunakan pada perhitungan struktur baik struktur atas maupun struktur bagian bawah.

3.6 Perhitungan Struktur Beton Bertulang, Beton Pratekan, dan Beton Pracetak

Perhitungan struktur beton bertulang berupa tulangan untuk struktur atas dan bawah seperti balok guideway, balok cross head, kolom, pilecap, dan lain sebagainya dihitung

berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2002. Adapun perhitungan struktur beton pratekan dihitung berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2002 dengan beberapa rincian sebagai berikut.

3.6.1 Perhitungan Beton Pratekan

Beton pratekan merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan antara beton berkekuatan tinggi dengan baja mutu tinggi dengan cara aktif.

3.6.1.1 Prinsip Dasar Beton Prategang

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton tidak mampu menahan tarikan dan kuat menahan tekanan, namun beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Sehingga, lahirlah konsep 'tidak ada tegangan tarik' pada beton.



Gambar 3.18. Pembebanan Balok Akibat Beban dan Gaya Prategang

Pada bentuk yang sederhana balok persegi panjang (lihat Gambar 3.16) yang diberi gaya pratekan oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal. Gaya tarik

pratekan F pada tendon akan menghasilkan gaya tekan F yang sama pada beton yang bekerja pada titik berat tendon. Maka:

$$f = \frac{F}{A}$$

Dimana:

F : Gaya tarik pratekan dari tendon

A : Luas penampang yang dikenai gaya prategang akibat tendon

Jika M adalah momen eksternal pada penampang akibat beban dan berat sendiri balok, maka tegangan pada setiap titik sepanjang penampang akibat M adalah:

$$f = \frac{M \times y}{I}$$

Jika tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton, maka

$$f = \frac{Fey}{I}$$

Dimana:

I : Inertia penampang balok

e : Eksentrisitas letak tendon terhadap garis netral penampang

y : Garis netral penampang balok

Sehingga perumusannya menjadi

$$\frac{F}{A} \pm \frac{My}{I} \pm \frac{Fey}{I}$$

(Lin dan Burns, 1996)

2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton, dimana baja menahan

tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. (Lin dan Burns, 1996)

3. Sistem prategang untuk mencapai kesetimbangan beban

Konsep ini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya - gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain beton prategang, pengaruh prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. (Lin dan Burns, 1996)

3.6.1.2 Tegangan Ijin pada Beton dan Baja

1. Tegangan baja, tidak melampaui nilai - nilai berikut:
 - a. Tegangan ijin akibat gaya pengangkuran tendon yang bekerja pada kabel.
 $0.8f_{pu}$ atau $0.94f_{py}$ (SNI 03-2847-2002 Ps.20.5.1)
 Diambil yang lebih kecil, tetapi tidak lebih besar dari nilai maksimum yang diusulkan oleh pembuat kabel atau angkur
 - b. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang tegangan ijin tendon memiliki nilai.
 $0.82f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0.74f_{pu}$
 (SNI 03-2847-2002 Ps.20.5.2)
 - c. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya prategang.
 $0.70f_{pu}$ (SNI 03-2847-2002 Ps.20.5.3)
 Namun berdasarkan Lin dan Burns perumusan di atas juga berlaku untuk tendon pratarik segera setelah peralihan gaya prategang.
2. Tegangan ijin beton, tidak melampaui nilai - nilai berikut:
 - a. Segera setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan), tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut.

$$Tekan = 0.6 f'_{ci} \quad (\text{SNI03-2847-2002 Ps.20.4.1.(1)})$$

$$Tarik = 0.25 \sqrt{f'_{ci}} \quad (\text{SNI03-2847-2002 Ps.20.4.1.(2)})$$

- b. Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang

$$Tekan = 0.45 f'_c \quad (\text{SNI03-2847-2002 Ps.20.4.2.(1)})$$

$$Tarik = 0.50 \sqrt{f'_c} \quad (\text{SNI03-2847-2002 Ps.20.4.2.(3)})$$

3.6.1.3 Tahapan-tahapan Pembebanan

Pada struktur beton prategang, terdapat tahapan - tahapan pembebanan di mana sebuah komponen struktur dibebani. Berikut adalah tahapan – tahapannya:

1. Tahap Awal

Tahap dimana struktur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal.

Tahap ini terdiri dari :

- a. Sebelum Sebelum diberi gaya prategang
- b. Pada saat diberi gaya prategang
- c. Pada saat peralihan gaya prategang

2. Tahap Akhir

Merupakan tahapan dimana beban mati tambahan dan beban hidup telah bekerja pada struktur. (Lin dan Burns, 1996)

3.6.1.4 Daerah Limit Kabel

Agar pengaruh beban kerja, pusat tekanannya tidak kern, maka garis netral (*center of gravity*) diletakkan dibawah kern tetapi tidak boleh melebihi jarak,

$$a_1 = \frac{M_T}{F}$$

$$a_2 = \frac{Mg}{Fo}$$

Batas garis netral di serat atas (et) dan serat bawah (eb) adalah:

$$et = \frac{f'b \times I}{F \times cb} = \frac{f'b \times Akt}{F}$$

$$eb = \frac{f't \times I}{Fo \times ct} = \frac{f't \times Akb}{Fo}$$

Dimana:

$$f't = \frac{Mct}{I} = \frac{Fo \times eb \times ct}{I}$$

$$f'b = \frac{F \times et \times cb}{I}$$

Tegangan yang terjadi akibat tata letak kabel tergantung pada pembatasan daerah garis netral (T. Y. Lin & Ned H. Burns).

3.6.1.5 Kehilangan Prategang

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat stressing. Reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

A. Kehilangan langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

1. Kehilangan akibat perpendekan elastis
2. Kehilangan akibat pengangkurian
3. Kehilangan akibat gesekan (*Woble efek*)

B. Kehilangan tidak langsung

Kehilangan prategang yang bergantung pada waktu disebut sebagai kehilangan prategang secara tidak langsung. Hal ini dikarenakan hilangnya gaya awal yang

ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat *jacking*), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan akibat rangkai beton
2. Kehilangan akibat susut beton
3. Kehilangan akibat relaksasi baja

Berikut ini penjelasan dari masing - masing kehilangan prategang :

A. Kehilangan Prategang Langsung:

1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis

Akibat gaya *jacking* yang terjadi oleh tendon prategang maka beton akan mengalami perpendekan elastis (karena tekanan gaya *prestress* yang cukup besar), struktur balok akan memendek dan kabel juga ikut mengalami perpendekan yang menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada kontruksi pasca tarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan, karena penarikan kabel hanya terjadi satu kali dan tidak ada tendon awal yang mengalami perpendekan dan kehilangan akibat tarikan tendon terakhir.

Sedangkan untuk tendon yang lebih dari satu maka kehilangan akibat perpendekan elastis dapat dihitung sebagai berikut:

$$ES = K_s E_s \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

dengan nilai f_{cir} sebagai berikut

$$f_{cir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_e e^2}{I} - \frac{M_G e}{I}$$

Dimana :

f_{cir} : Tegangan beton pada garis berat baja (c.g.s) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton

F_o : Gaya akibat tarikan tendon

e : Eksentrisitas Tendon

M_G : Momen akibat berat sendiri beton

A : Luas penampang balok

K_{es} : 1 untuk komponen struktur pratarik

K_{es} : 0.5 untuk komponen struktur pasca - tarik bila kabel - kabel secara berturutan ditarik dengan gaya yang sama

E_s : Modulus elastisitas tendon prategang

2. Kehilangan Akibat Woble Efek

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi di antara tendon dan bahan-bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam aliyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai woble effect. Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_o di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak L di sepanjang bentang. Sedangkan, efek *Wobble* mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen di sepanjang tendon.

Besarnya nilai kehilangan tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_{TB} = F_{oTB} \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

$$\Delta F = F_{oTB} - F_{TB}$$

$$\alpha = \frac{8f}{L}$$

Dimana:

F_{TB} = Gaya prategang setelah terjadi kehilangan akibat friction

ΔF = Besarnya gaya kehilangan prategang akibat friksi

F_{oTB} = Gaya awal prategang ditengah bentang

α = Sudut kelengkungan

μ = Koefisien friksi (gesekan)

K = Koefisien *woble*

L = Panjang bersih balok

f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs)

3. Kehilangan Akibat Slip Angkur

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang terlihat ke angkur. Pada metode pasca tarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya jacking dialihkan ke angkur. Perlengkapan dalam angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit.

Besarnya nilai kehilangan prategang akibat slip angkur dapat dihitung dengan perumusan berikut:

$$\Delta fs = \frac{\Delta a \cdot Es}{L}$$

dimana :

Δfs = Kehilangan pratekan pada baja

Δa = deformasi total pada angker

L = Panjang total kabel

B. Kehilangan Prategang Tidak Langsung:

1. Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja

Besarnya gaya yang hilang bergantung pada lamanya waktu dan rasio antara prategang awal f_{pi} dan kuat leleh baja prategang f_{py} . Untuk menentukan besaran – besaran dari koefisien – koefisien yang dipakai maka harus diketahui dahulu nilai tegangan *ultimate* yang terpakai.

Dengan nilai f_{pu} dan f_{py} dapat dihitung sebagai berikut,

$$f_{pu} = \frac{\text{minimum breaking load}}{A_s}$$

Maka sesuai *Lin & Burns, 2000 Tabel 4.5 hal. 111*, maka digunakan tipe tendon Kawat relaksasi – rendah derajat 1720 MPa. Sehingga perhitungan besarnya gaya yang hilang akibat relaksasi baja adalah sebagai berikut,

$$RET_1 = [K_{re} - J(SH_1 + CR_1 + ES_1)C]$$

Dimana :

F_{pu} = Tegangan *ultimate* yang terpakai

RET_1 = Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja

K_{re} = Koefisien relaksasi baja

J = Koefisien relaksasi

SH = Kehilangan pratekan akibat susut beton

CR = Kehilangan pratekan akibat rangkai beton

ES = Kehilangan pratekan akibat pendekan elastis

C = Koefisien batang *stress relieved*

2. Kehilangan Prategang Akibat Rangkak

Merupakan deformasi lateral akibat tegangan longitudinal yang dapat menyebabkan hilangnya sebagian gaya prategang dengan adanya tegangan rangkai. Tegangan tersebut hanya

terjadi akibat beban yang terus – menerus selama riwayat pembebanan elemen beton prategang. Sesuai *Lin & Burns, 2000 hal. 107* dan *Nawy, 2001 hal 82* perumusan rangkai adalah sebagai berikut,

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

dimana : K_{cr} = Untuk komponen struktur pasca-tarik adalah sebesar 1,6

f_{cds} = Tegangan beton didaerah *cgs* akibat beban tetap *permanent* (*super imposed dead load*), dinyatakan dengan $M_G + \phi L$, beban tetap *permanent* merupakan semua beban mati tambahan yang bekerja setelah pemberian gaya prategang

f_{cir} = Tegangan beton didaerah *cgs* oleh F_o segera setelah transfer

3. Kehilangan Prategang Akibat Susut Beton

Susut pada beton adalah regangan yang terjadi akibat penguapan air yang bergantung pada kelembapan, ukuran bentuk penampang dan waktu. Kehilangan prategang akibat susut untuk komponen struktur pasca tarik bernilai lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian gaya prategang. Besarnya nilai kehilangan akibat susut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0,0236 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)$$

dimana : K_{sh} = Untuk pasca-tarik, nilainya ditentukan oleh *Lin & Burns, 2000 Tabel 4-4 hal. 109*

$\frac{V}{S}$ = V adalah *ratio* volume dan S adalah luas permukaan

RH = Kelembaban relatif udara sekitar

Tabel 3.5. Tabel Koefisien Susut Post Tension

K_{SH}	waktu akhir perawatan hingga pemberian gaya prategang
0.92	1
0.85	3
0.8	5
0.77	7
0.73	10
0.64	20
0.58	30
0.45	60

Jika perawatan dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2002 yaitu selama 5 hari setelah pengecoran dan penarikan dilakukan setelah 7 hari dilakukan pengecoran maka nilai

sesuai Tabel 2.1 KSH diambil dari akhir perawatan hingga penarikan yaitu dari hari ke 5 hingga ke 7 maka nilai KSH = 0.8.

3.6.1.6 Momen Retak

Perhitungan kuat ultimate dari balok prategang harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2002 pasal 20.8.3 mengenai jumlah total baja tulangan non prategang dan prategang harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1.2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar $0.7\sqrt{f_c}$ sehingga didapat $\phi M_u \geq 1.2 M_{Cr}$ dengan nilai $\phi = 0.85$

Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut (dengan asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan) :

$$-f_r = \frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{I} \times Y - \frac{M_{Cr} \times Y}{I}$$

$$M_{Cr} = \left(\frac{F_{eff}}{A} \times \frac{I}{Y} \right) + \left(\frac{F_{eff} \times e \times Y}{I} \times \frac{I}{Y} \right) + \left(f_r \times \frac{I}{Y} \right)$$

Dimana :

- F_{eff} = Gaya prategang efektif setelah kehilangan
- I = Inertia balok
- e = Eksentrisitas dari cgc
- A = Luas penampang balok
- y = Garis netral balok
- f_r = Modulus keruntuhan = $0.7\sqrt{f_c}$

3.6.1.7 Balok Menerus Pratekan

Pada balok guideway pratekanan direncanakan tiap 20 meter saat erection dan akan disambung menjadi 100 meter dengan kabel tendon panjang menjadi sistim pratekan balok menerus

Suatu perbandingan sederhana antara kekuatan dari balok yang ditumpu secara sederhana dan balok menerus akan

menunjukkan penghematan dasar di dalam konstruksi beton prategang-menerus.

✓ Perumusan Balok Sederhana

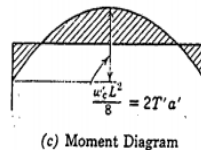
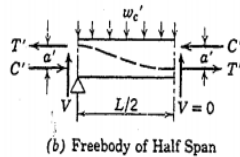
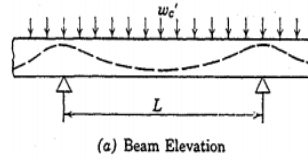
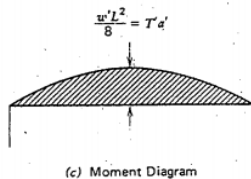
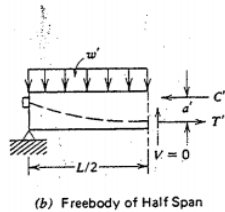
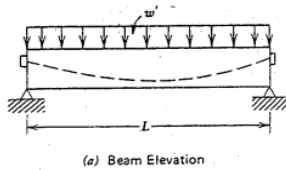
$$\frac{w' L^2}{8} = T' a'$$

$$w' = \frac{8 T' a'}{L^2}$$

✓ Perumusan Balok Menerus

$$\frac{w_c' L^2}{8} = 2 T' a'$$

$$w_c' = \frac{16 T' a'}{L^2}$$



Gambar 3.19. Balok Sederhana Gambar 3.20. Balok Menerus

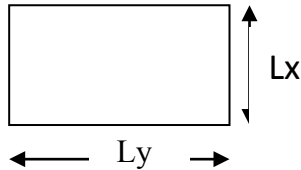
Dengan membandingkan kedua rumus di atas dan kedua gambar di atas terlihat bahwa $w_c' = 2w'$, ini berarti bahwa dua kali beban pada balok sederhana dapat dipikul oleh bentang menerus dengan jumlah beton dan baja yang sama. Hal ini menunjukkan penghematan yang sangat besar dalam mendesain beton prategang.

3.6.2 Perhitungan Beton Bertulang

3.6.2.1 Perencanaan Pelat

a. Perencanaan pelat satu arah (*one way slab*)

Pelat satu arah terjadi apabila $\frac{L_y}{L_x} > 2$



Gambar 3.21. Syarat Pelat Satu Arah

Tabel 3.6. Perencanaan Pelat satu Arah

	Tebal minimum, h			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
Komponen struktur	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8

- Panjang bentang dalam mm
- Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal (**Wc = 2400 kg/m³**) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut :

Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara **1500 kg/m³** sampai **2000 kg/m³**, nilai tadi harus dikalikan dengan **(1,65-0,0003 Wc)** tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana **Wc** adalah berat jenis dalam kg/m³.

Untuk **fy** selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan **(0,4 + fy/700)**.

b. Penulangan pelat

1) Rasio penulangan

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

Jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%.

Sehingga

ρ_{pakai}	$= 1,3 \times \rho_{\text{perlu}}$
As	$= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$

- 2) Kontrol jarak spasi tulangan.

$$S_{\max} < 2 \times h$$

- 3) Kontrol tulangan susut dan suhu.

Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014.

Tabel 3.7. Rasio tulangan susut dan suhu

		Rasio tulangan minimum terhadap luas bruto
a	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 Mpa	0,0020
b	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos ulir) mutu 400Mpa	0,0018
c	Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400Mpa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35%	$0,0018 \times \frac{400}{f_y}$

- 4) Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu.

$$S < 5h \text{ atau } 450\text{mm}$$

- 5) Kontrol retak tulangan

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300Mpa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian sehingga nilai z yang diberikan oleh :

$z = fs \times^3 \sqrt{dc \times A}$ tidak melebihi 30MN/m untuk penampang di dalam ruangan dan 25MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

Tegangan pada tulangan akibat beban kerja fs (MPa) harus dihitung sebagai momen maksimum tak terfaktor dibagi dengan hasil kali luas tulangan baja dengan lengan momen dalam. Bila tidak dihitung dengan cara di atas, fs boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh fy yang disyaratkan.

$A = 2 \times dc \times s$ dimana s adalah jarak antara batang tulangan. Untuk lebar retak yang digunakan adalah :

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \times \beta \times fs \times^3 \sqrt{dc \times A}$$

$\leq 0,4\text{mm}$ untuk penampang didalam ruangan

$\leq 0,3\text{mm}$ untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

Spasi tulangan yang berada paling dekat pada permukaan tarik tidak boleh melebihi

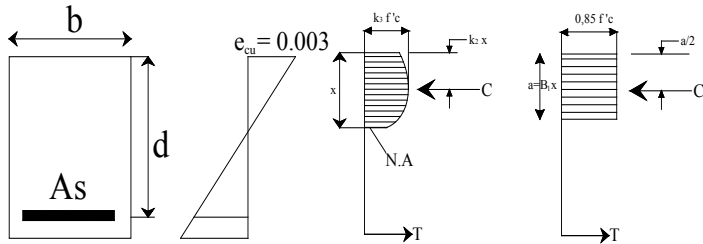
$$s = \frac{9500}{fy} - 2,5Cc. \quad \text{Tetapi tidak boleh melebihi}$$

$$300 \left(\frac{252}{fs} \right).$$

3.6.2.2 Perencanaan Balok

❖ Perhitungan Penulangan Lentur.

a. Tulangan Tunggal



Gambar 3.22. Kondisi- kondisi jika kekuatan lentur nominal tercapai pada perhitungan tulangan tunggal

1) Rasio penulangan

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \longrightarrow Mn_{perlu} = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Rn = \rho \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times \rho \times m \right)$$

$$b.d^2 = \frac{Mn_{perlu}}{Rn} \longrightarrow \text{Tentukan } b \text{ dan } d$$

2) Menentukan rasio tulangan ;

$$Rn_{perlu} = \frac{Mn_{perlu}}{b \times d^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right)$$

Jika $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%.

Sehingga $\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu}$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$As = \rho \times b \times d \longrightarrow As_{pasang}$$

3) Cek Kapasitas Penampang :

$$a = \frac{(As_{pasang} \times f_y)}{0,85 \times f'_c \times b}$$

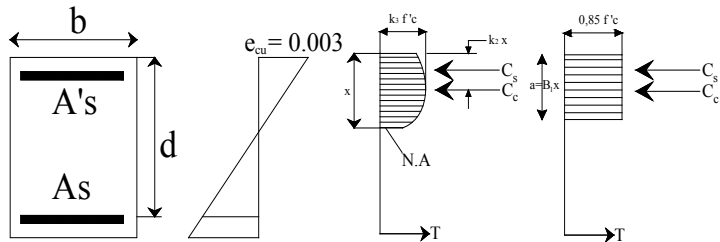
$$Cc = 0,85 \times f'_c \times b \times a$$

$$T = As \times fy$$

$$Mn = Cc \times T \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \text{Nmm}$$

$$\phi Mn > Mu \dots \text{OK}$$

b. Tulangan Rangkap



Gambar 3.23. Kondisi- kondisi jika kekuatan lentur nominal tercapai pada perhitungan tulangan rangkap

- 1) Tentukan nilai momen tumpuan dan lapangan pada balok. (hasil didapat dari out put SAP 2000 Versi 12).
- 2) Rencanakan f_y , f'_c , d , d' , d'' .

$$3) \quad M_{n_{perlu}} = \frac{Mu}{\phi}$$

- 4) Tentukan Nilai x (garis netral)

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$x_{\max} = 0,75 \times x_b$$

- 5) Hitung Gaya

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times b \times a \quad a = x \cdot \beta$$

$$C_s = A's \times (f_y - 0.85 \cdot f'_c); \text{bila } A's \text{ leleh}$$

Atau

$$C_s = A's \times (f_s - 0.85 \cdot f'_c); A's \text{ tidak leleh}$$

- 6) Hitung Momen yang berkerja

$$Mn = Mnc + Mns$$

$$Mnc = Cc \times \left(d - \frac{a}{s} \right) \quad \text{dan} \quad Mns = Cs \times (d - d')$$

- 7) Menghitung Luasan Tulangan yang dibutuhkan

$$f's' = \left(\frac{x - d''}{x} \right) \times 600 ;$$

gunakan $f's$, bila $f's > f_y$ (untuk tulangan tekan)

$$A's = \frac{Cs}{(f's - 0,85 f'c)} \quad \text{atau} \quad A's = \frac{Cs}{(f_y - 0,85 f'c)}$$

$$As = \frac{Cs}{f_y} + \frac{Cc}{f_y}$$

- 8) Tentukan Nilai As dan A's yang dipakai
- 9) Cek keserasian Tegangan yang terjadi, berdasarkan tulangan yang terpasang.

$$T = Cc + Cs$$

$$As \times f_y = (0,85 \times f'c \times b \times a) + (A's(f's - 0,85 f'c))$$

$$As \times f_y = (0,85 \times f'c \times b \times (x.\beta)) + A's \left(\left(\left(\frac{x - d''}{x} \right) \times 600 \right) - 0,85 f'c \right)$$

berdasarkan rumus diatas akan didapat nilai x yang sesuai dengan tulangan yang terpasang.

- 10) Hitung $f's$ yang sebenarnya berdasarkan nilai x

$$f's = \frac{(x - d') \times 600}{x}$$

- 11) Hitung Kapasitas Momen yang terjadi sesuai tulangan yang terpasang.

$$Mn_1 = (As \cdot 1,25 f_y - A' s \cdot f' s) x \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn_2 = (A' s \cdot f' s) x (d - d') = 0$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$\phi Mn > Mu \dots \text{OK}$$

- 12) Perikasa Jarak Tulangan

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{tul.sengkan}) - (n \times \phi_{tul.utama})}{n - 1}$$

$$s \geq 35 \text{ mm}$$

(atau sesuai dengan ukuran max agregat kasar)

❖ **Perhitungan Penulangan Geser**

Kekuatan geser Nominal beton bertulang V_n pada dasarnya merupakan kombinasi kekuatan antara geser yang mampu dipikul beton V_c dengan kekuatan geser yang mampu dipikul oleh baja tulangan V_s atau dalam persamaan dapat dituliskan :

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} bw.d$$

bila dihitung lebih rinci nilai V_c bisa diambil sebesar :

$$V_c = \left[\frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \right] bw.d \leq 0,3 \sqrt{f'_c} bw.d$$

Dimana :

$$\rho_w = \frac{As}{b.d} ; \frac{Vu.d}{Mu} \leq 1$$

apabila pada suatu elemen struktur bekerja tekan aksial kemampuan geser yang mampu dipikul beton adalah,

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} . b_w . d$$

Dimana N_u/A_g harus dinyatakan dalam Mpa.

bila dihitung lebih rinci nilai V_c ,

$$V_c = \left[\frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \cdot \frac{V_u.d}{M_m} \right) \right] . b_w . d \leq 0,3 \sqrt{f'_c} . b_w . d \sqrt{1 + \frac{0,3.N_u}{A_g}}$$

dimana :

$$M_m = Mu - Nu \left(\frac{4h - d}{8} \right)$$

Untuk komponen yang menerima gaya tarik aksial yang besar maka

besarnya V_c bisa diambil sebesar :

$$V_c = \left(1 + \frac{0,3N_u}{A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} . b_w . d \leq 0$$

Untuk komponen struktur bundar, luas yang digunakan untuk menghitung V_c harus diambil sebagai hasil kali dari diameter dan tinggi efektif penampang. Tinggi efektif penampang boleh diambil sebagai 0,8 kali diameter penampang beton.

Adapun luas tulangan geser minimum adalah,

$$A_{v(\min)} = \frac{b_w \cdot S}{3 \cdot f_y}$$

3.6.2.3 Perencanaan Kolom dan Pilar

Pada saat perencanaan elemen kolom perlu ditentukan apakah kolom yang kita rencanakan tergolong kolom pendek apakah kolom langsing. Begitu pula perlu kita definisikan apakah tergolong kolom dengan pengaku (braced) ataukah kolom tanpa pengaku (unbraced), Untuk itu perlu dilakukan kontrol sebagai berikut :

Tabel 3.8. Rasio tulangan susut dan suhu

No.	Kondisi	Kolom Pendek	Kolom Langsing
1.	Braced	$\frac{k \cdot L_u}{r} < 34 - 12 \cdot \frac{M_1}{M_2}$	$\frac{k \cdot L_u}{r} \geq 34 - 12 \cdot \frac{M_1}{M_2}$
2.	Unbraced	$\frac{k \cdot L_u}{r} < 22$	$\frac{k \cdot L_u}{r} \geq 22$

Dimana : $r = \sqrt{I/A}$ adalah Momen Inersia Penampang, k adalah Faktor panjang efektif, M_1 merupakan Momen terkecil pada ujung kolom sedangkan M_2 merupakan Momen terbesar pada ujung kolom.

a. Penulangan kolom

1) kontrol kelangsingan kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI / \lambda)_{kolom}}{\sum (EI / \lambda)_{balok}}$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.11.6)

$$EI = \frac{(0,2 E_c I_g) + (E_c I_g)}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

$$EI = \frac{0,4 \times E_c I_g}{1 + \beta_d}$$

- (SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_{kolom}}{(k \times \lambda_u)^2}$$

- (SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

- Untuk rangka portal tak bergoyang
(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.2).

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 22$$

- untuk rangka portal bergoyang (SNI 03-2847-2002 Pasal 12.13.2)

Apabila $\frac{k \times l_u}{r} \geq 100$, maka diperlukan perhitungan momen orde dua

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.11.5).

2) Pembesaran momen

- $M_c = \delta_{ns} \times M_2$ untuk rangka portal tak bergoyang

$$\frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \times P_c}} \geq 1$$

- $\delta_{ns} =$ (SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

- $M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$
(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.13.3)

- $M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$

untuk rangka portal bergoyang

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)

3) Perhitungan penulangan lentur

Hitung :

Tentukan harga β

Nilai M_{ox} dan M_{oy}

$$M_{ox} = M_{nx} + M_{ny} \left[\frac{h}{b} \right] \left[\frac{1-\beta}{\beta} \right] ; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$$

$$M_{oy} = M_{ny} + M_{nx} \left[\frac{b}{h} \right] \left[\frac{1-\beta}{\beta} \right] ; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$$

$$\frac{P_u}{A_g} \text{ dan } \frac{\phi M_{ox}}{A_g \times h} \quad (2-77)$$

ρ_{perlu} didapat dari diagram interaksi

$$A_s = \rho_{perlu} \times b \times h \quad (2-78)$$

4) Cek kemampuan kolom

- Hitung M_{ox} dan M_{oy} baru
- Cari β dengan tabel hubungan interaksi lentur biaksial

$$\left(\frac{M_{ny}}{M_{oy}} \right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{nx}}{M_{ox}} \right)^{\alpha} \leq 1 \longrightarrow M^o \geq \frac{M_u}{\phi} \quad (2-79)$$

b. Perhitungan penulangan geser

Gaya rencana V_e , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut pasal 23.4(5(1)) harus ditentukan dari kuat momen max M_{pr} dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu di HBK. M_{pr} ini ditentukan berdasarkan rentang beban aksial terfaktor yang mungkin terjadi dengan $\phi = 1,0$ dan juga diambil sama dengan momen balance diagram interaksi dari kolom dengan menggunakan nilai $f_s = 1,25f_y$.

Untuk mendapatkan nilai Mpr kolom atas dan bawah , maka akan digunakan program bantu PcaCol. Setelah didapat nilai Momen ($M_{n\ top}$ dan $M_{n\ bt}$)dari program bantu PCACOL maka nilai V_e :

$$V_e = \frac{(M_{n_{top}} + M_{bottom})}{h}$$

Untuk gaya geser desain berdasarkan Mpr positif dan negatif dari balok- balok yang bertemu di HBK :

$$V_u = \frac{(M_{pr}^+ + M_{pr}^-)}{L}$$

Berdasarkan Pasal 23.4.5(1), "Gaya geser rencana tidak perlu lebih besar daripada gaya geser rencana yang ditentukan dari kuat hubungan balok-kolom berdasarkan kuat momen maksimum Mpr, dari komponen struktur transversal yang merangka pada hubungan balok- kolom tersebut.

$$V_e < V_u$$

$$\frac{(M_{n_{top}} + M_{bottom})}{h} < \frac{(M_{pr}^+ + M_{pr}^-)}{L}$$

Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d\right)$$

Namun pada daerah-daerah yang disebutkan pasal 23.3(3(1)) harus dirancang untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$

Berdasarkan **Pasal 23.3(4(2))**, gaya $V_c = 0$ apabila;

- Gaya geser akibat gempa saja (yaitu akibat M_{pr}) $> 0,5$ total geser (akibat M_{pr} + beban gravitasi).
- Gaya aksial tekan $< \frac{(A_g \times f'_c)}{20}$

Berdasarkan pasal 23.3(3(1)) dan 23.3(3(2)) bahwa, Hoops diperlukan sepanjang 2h dari muka kolom pada dua ujung kompone lentur, dengan meletakkan hoop pertama sejarak 50 mm dari muka kolom. Jarak hoops disyaratkan s harus tidak melebihi;

$$\begin{aligned} S_{\max} &= d/4 \\ &= 8 \text{ db tulangan longitudinal} \\ &= 24 \text{ db Hoops} \\ &= 300\text{mm} \end{aligned}$$

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka kuat geser (V_c) harus dihitung menggunakan rumus :

$$V_c = 1 + \frac{Nu}{14Ag} \times \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \times b_w \times d$$

3.7 Perencanaan Pondasi

Perencanaan struktur pondasi menggunakan pondasi tiang pancang. Data tanah yang digunakan adalah data Bor Log.

✓ Perhitungan Daya Dukung Ijin (P_{ijin})

Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang, dan besarnya daya dukung yang diizinkan R_a diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$R_a = \frac{1}{n} R_u = \frac{1}{n} (R_p + R_f)$$

Dimana,

n = faktor keamanan biasanya

R_u = daya dukung ultimate pada tanah pondasi (ton)

R_p = daya dukung terpusat tiang (ton)

R_f = gaya geser dinding tiang (ton)

Atau :

$$R_a = \frac{1}{n} R_u$$

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i \cdot f_i$$

Dimana:

q_d = daya dukung terpusat tiang (ton)

A = luas ujung tiang (m^2)

U = panjang keliling tiang

l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (t/m^2)

✓ Menghitung taraf penjepitan tiang

Perhitungan menggunakan rumus-rumus umum untuk gaya menurut sumbu orthogonal tiang yang disebutkan oleh gaya luar, pada buku “ mekanika tanah dan teknik pondasi “.

untuk tiang tenggelam di tanah ($h=0$) dan jika kepala tiang tidak berputar , maka di dapat persamaan :

$$\bullet \quad l_m \text{ (cm)} = \frac{\pi}{2\beta}$$

$$\bullet \quad l = \frac{3\pi}{4\beta}$$

$$\bullet \quad L = \frac{\pi}{\beta}$$

Dimana :

$$\beta = \sqrt[4]{k \frac{D}{4} EI}$$

k = koefisien reaksi tanah bagian bawah (kg/cm^3)

$$= k_0 y^{-1/2}$$

- D = diameter tiang (cm)
 E = modulus elastisitas tiang (kg/cm²)
 I = momen inerti tiang (cm⁴)

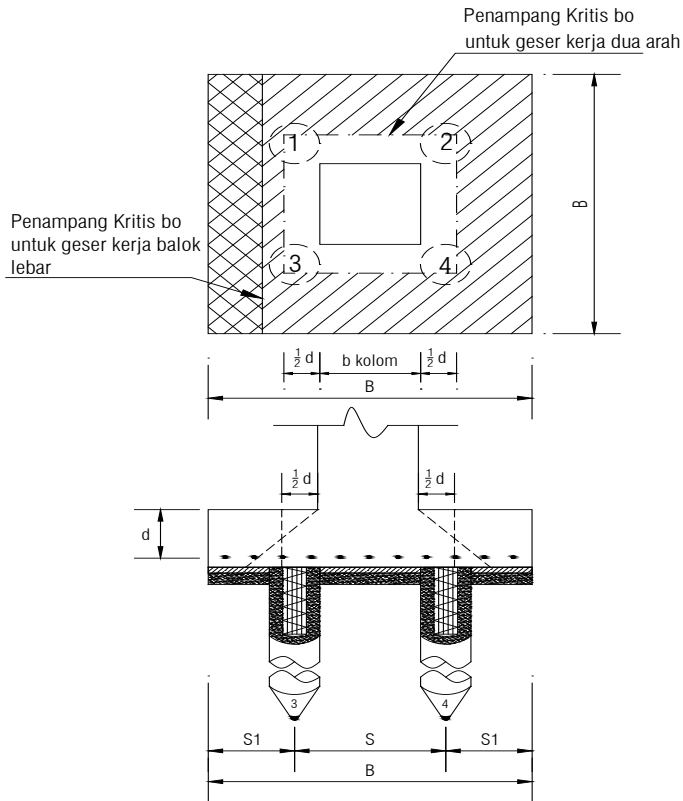
✓ Kekuatan Bahan

$$\bar{P}_b = Atp * f'_c \text{ ijin}$$

$$\text{Dimana } f'_c \text{ ijin} = 0,45 f'_c$$

- ✓ Kemampuan tiang (Pijin) adalah nilai terkecil diantara kekuatan tanah atau kekuatan bahan.
- ✓ Kontrol Geser Pons Pada Poer Akibat Beban Aksial Kolom:

Kekuatan geser pondasi di daerah sekitar kolom atau dinding yang dipikulnya harus ditentukan menurut mana yang lebih menentukan dari 2 (dua) kondisi tinjauan, baik sebagai kerja balok lebar atau satu arah maupun sebagai kerja dua arah, harus dipertimbangkan untuk menentukan tebal pelat yang diperlukan. Dengan kerja balok lebar, pondasi dianggap sebagai balok yang lebar dengan penampang kritis pada sepuh lebarnya. Biasanya kondisi ini jarang menentukan dalam desain. Kerja dua arah pada pondasi dimaksudkan untuk memeriksa kekuatan geser pons (punching shear stress). Penampang kritis untuk geser pons ini terletak pada sepanjang lintasan yang terletak sejauh $\frac{1}{2} d$ dari muka kolom, yang mengelilingi kolom yang dipikul oleh pondasi. *Gambar 2.20* di bawah ini menjelaskan cara menentukan penampang kritis, baik pada asumsi kerja balok lebar maupun kerja dua arah.



Gambar 3.24. Kontrol Geser Ponds pada Pile Cap Akibat beban Kolom

Dengan Perumusan yang dipakai adalah sebagai berikut:

- Kontrol Geser Ponds 1 Arah (balok Lebar)

$$V_u \leq \phi * V_c \text{ atau } V_u \leq \phi * \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6} \right) * b_w * d$$

- Kontrol Geser Ponds 2 Arah.
Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil,
sesuai SNI 03-2847-2002 Ps.13.12.2.1.a – Ps.13.12.2.1.

$$V_u \leq \phi * V_c$$

Dimana V_n diambil nilai terkecil dari

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'c}\right) * b_0 * d$$

atau

$$V_c = \left(\frac{\alpha * d}{b_0} + 2\right) \left(\frac{1}{12} \sqrt{f'c}\right) * b_0 * d$$

atau

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} * b_0 * d$$

$V_u < \phi V_c$ —————> tidak perlu tulangan geser

$V_u > \phi V_c$ —————> tebal poer tidak mencukupi.

Dimana :

β_c = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek penampang kolom

α = 40 Untuk kolom dalam

= 30 Untuk Kolom Tepi

= 20 Untuk Kolom Sudut.

b_0 = Perimeter penampang kritis

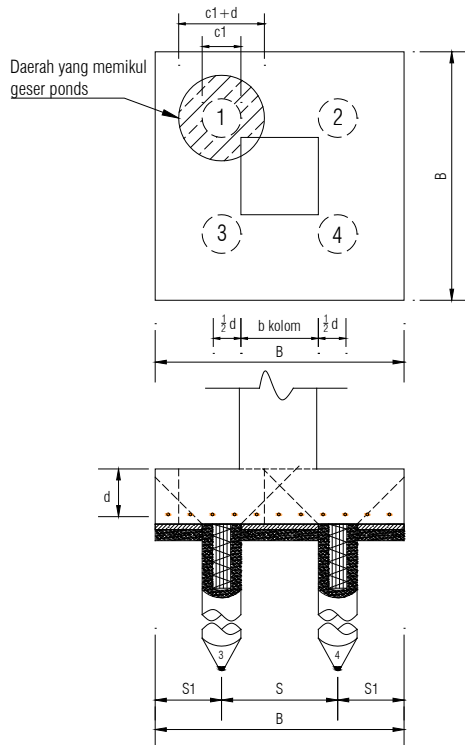
d = Tinggi Manfaat Pelat.

$V_u < \phi V_c$ —————> tidak perlu tulangan geser

$V_u > \phi V_c$ —————> tebal poer tidak mencukupi.

- ✓ Kontrol Geser Pons Pada Poer Akibat Beban Aksial dari Tiang Pancang :

Penampang kritis untuk geser pons ini terletak pada sepanjang lintasan yang terletak sejauh $\frac{1}{2} d$ dari muka tiang pancang, yang mengelilingi tiang pancang yang dipikul oleh pelat pondas. Untuk mencapai kondisi kerja balok dua arah, maka syarat jarak tiang pancang ke tepi harus lebih besar dari $1,5 \times \text{diameter tiang pancang}$ tersebut. *Gambar 2.21* di bawah ini menjelaskan cara menentukan penampang kritis akibat aksial tiang pancang pada asumsi kerja dua arah.



Gambar 3.25. Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap Akibat Beban TiangPancang .

- o Kontrol Geser Ponds 2 Arah.

Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil, sesuai SNI 03-2847-2002 Ps.13.12.2.1.a – Ps.13.12.2.1.

$$V_u \leq \phi * V_c$$

Dimana V_n diambil nilai terkecil dari

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c}\right) * b_0 * d$$

atau

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_0 * d$$

$V_u < \phi V_c \longrightarrow$ tidak perlu tulangan geser

$V_u > \phi V_c \longrightarrow$ tebal poer tidak mencukupi.

Dimana :

β_c = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek penampang kolom

b_0 = Perimeter penampang kritis

d = Tinggi Manfaat Pelat.

$V_u < \phi V_c \longrightarrow$ tidak perlu tulangan geser

$V_u > \phi V_c \longrightarrow$ tebal poer tidak mencukupi.

3.8 Kontrol Disain

Melakukan cek pada perhitungan struktur yang telah dilakukan. Jika struktur sudah “Oke” atau mampu menahan gaya yang bekerja dan sesuai dengan persyaratan yang ada, maka setelah itu dapat di gambarkan pada gambar disain teknik atau *Detail Engineering Drawing* (DED). Jika “Tidak Oke”, maka profil atau dimensi struktur harus diubah yaitu kembali pada tahap disain permulaan (*preliminary design*). Adapun beberapa

kontrol desain untuk struktur beton bertulang dan beton pratekan pada perencanaan struktur ini adalah sebagai berikut.

3.8.1 Kontrol Struktur Beton Bertulang

1. Pelat

- Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-2847-2002, Pasal 15.3.2).
- Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu.
- Kontrol perlu tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2002, Pasal 9.12.2.1) dan (SNI 03-2847-2002, Pasal 10.4.3)
- Kontrol lendutan (SNI 03-2847-2002, Pasal 11.5.3.4)

2. Balok

- Kontrol $M_n \text{ pasang} \geq M_n$ untuk penulangan lentur.
- Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 5 kondisi.

3. Kolom

- Kontrol kemampuan kolom.
- Kontrol momen yang terjadi $M \text{ pasang} \geq M_n$.

4. Poer

- Kontrol dimensi poer
 - (SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1. (a))
 - (SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1. (b))
 - (SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12.2.1. (c))

3.8.2 Kontrol Struktur Beton Pratekan

1. Kontrol Lendutan

Lendutan yang terjadi pada balok prategang berbeda dengan balok bertulang biasa, karena lendutan yang terjadi selain akibat dari beban yang bekerja juga lendutan yang terjadi karena pengaruh penarikan gaya prategang yang dapat menyebabkan

arah lendutan berlawanan dengan lendutan beban yang disebut dengan cambre. Lendutan tersebut dapat digunakan dengan lebih menguntungkan untuk menghasilkan lendutan keatas yang diinginkan dan menggeser lendutan akibat beban. Sebaliknya, lendutan ke atas akibat gaya prategang tersebut juga akan menyebabkan kesulitan yang serius jika memberikan gaya penarikan yang terlalu berlebihan. Oleh karena itu, peramalan lendutan yang akan terjadi pada komponen struktur prategang harus dilakukan. Lendutan yang bekerja antara lain :

- Lendutan Akibat Tekanan Tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke arah atas. Sedangkan syarat ijin lendutan mengarah ke bawah, sehingga lendutan akibat tendon dapat melawan lendutan kebawah yang diakibatkan oleh beban dan berat sendiri.

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times l^4}{E_C \times I}$$

dengan nilai P sebesar

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{l^2}$$

dimana :

F_o = Gaya Prategang (N)

f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs, mm)

l = Panjang Efektif (dalam mm)

E_C = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

I = Inertia Balok (dalam mm)

- Lendutan Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri balok menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah. Besarnya lendutan ke bawah akibat berat sendiri adalah:

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_C \times I} \quad (\downarrow) \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

q_o = Berat sendiri saat jacking (N/mm)

f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs, mm)

l = Panjang Efektif (dalam mm)

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

I = Inertia Balok (dalam mm⁴)

2. Kontrol Gaya Prategang Setelah Kehilangan Gaya Prategang

- Tegangan Saat Pelaksanaan (Menahan Berat Sendiri)

$$\sigma = \frac{Fo}{Ac} \mp \frac{Fo \times e}{W} \pm \frac{Mg}{W}$$

- Tegangan Saat *Service Load* (Beban Layan)

$$\sigma = \frac{F}{Ac} \mp \frac{F \times e}{W} \pm \frac{Mp}{W}$$

3. Kontrol Tegangan di Belakang Angker

- Saat Stressing

$$F_{cp} = 0,8 \times f'_{ci} \sqrt{\frac{Ab'}{Ab}} - 0,20$$

$$F_{cp} = 1,25 \times f'_{ci}$$

Kontrol:

$$\frac{Fo}{Ab} < F_{cp}$$

- Saat *Service Load*

$$F_{cp} = 0,6 \times f'_c \sqrt{\frac{Ab'}{Ab}}$$

Kontrol:

$$\frac{F}{Ab} < F_{cp}$$

4. Penulangan *Guideway Beam* (Track Monorail)

- Batas Penulangan

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c}$$

- Kebutuhan Penulangan

$$M_n = \frac{M_u}{0,8}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$As = \rho \times b \times d$$

3.9 Laporan dan Gambar

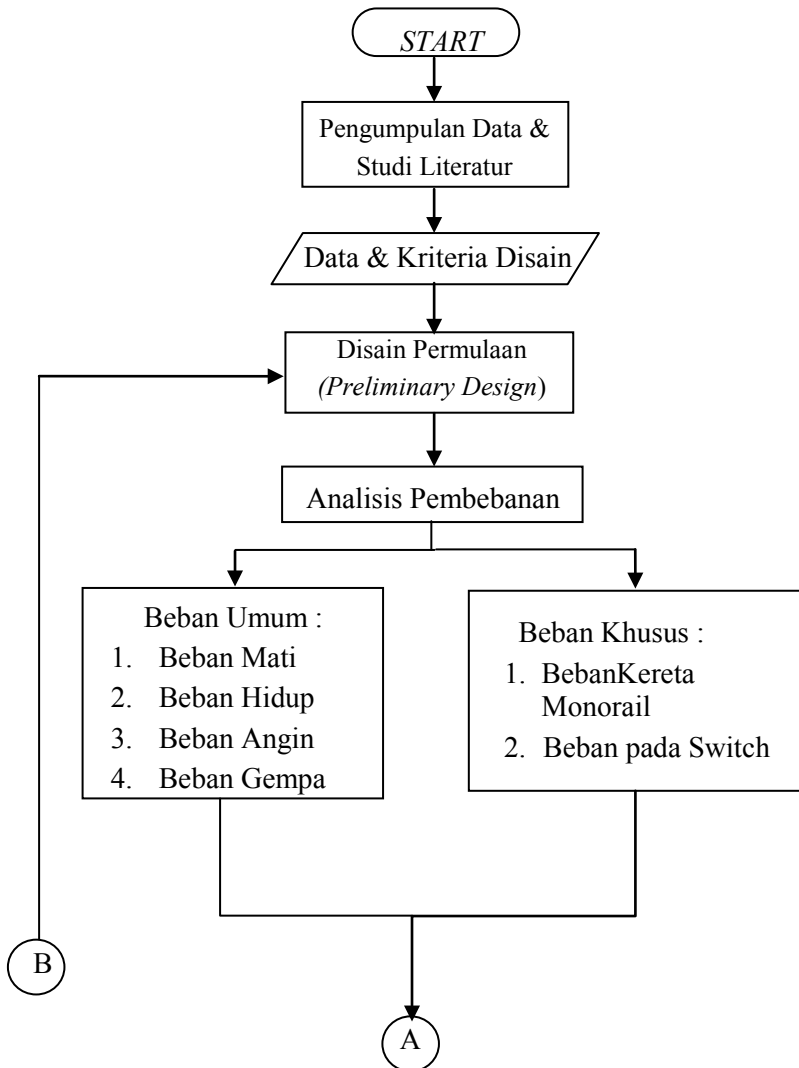
Tahap akhir dari tugas akhir perancangan struktur ini nantinya yaitu berupa laporan dan gambar disain teknik (DED). Dimana laporan berisi tahap-tahap perencanaan struktur hingga didapat struktur yang kuat menahan beban yang diterima sesuai peraturan yang ada dan dirasa cukup ekonomis. Gambar disain teknik berisi gambar-gambar seperti gambar denah, tampak, potongan dan detail struktur yang dapat digunakan sebagai acuan sebelum pelaksanaan pembangunan struktur tersebut.

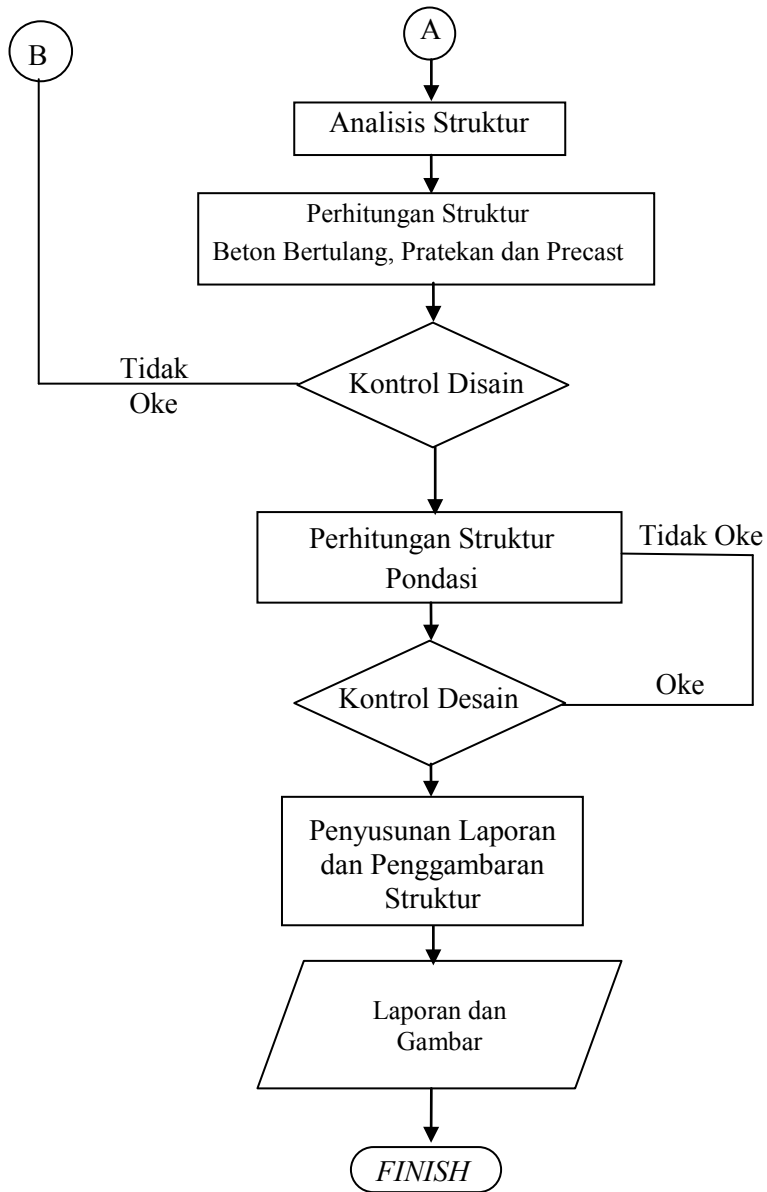
Adapun gambar desain teknik (DED) pada tugas akhir ini meliputi :

1. Gambar Layout
 - Gambar layout rencana track monorail dan switch
2. Gambar Struktur
 - Denah Kolom
 - Denah Balok
 - Denah Pondasi
 - Potongan Memanjang
 - Potongan Melintang
 - Penulangan Pelat
 - Penulangan Balok
 - Penulangan Kolom
 - Penulangan Poer dan Pondasi
 - Detail Penulangan dan Tendon *Guideway Beam*
 - Detail Panjang Penyaluran

3.10 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Adapun diagram alir dari metodologi perencanaan struktur stasiun dan *basement* monorail ini adalah sebagai berikut.





BAB IV

PERENCANAAN TRACK MONOREL

4.1 Umum

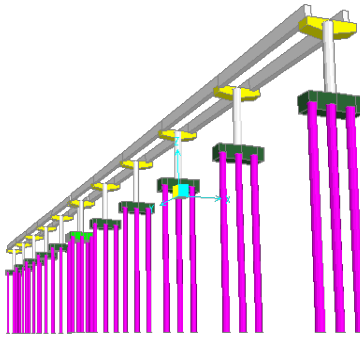
Struktur bangunan track monorail terdiri dari struktur pilar yang terbuat dari beton pracetak yang kemudian akan dirangkai dengan pier head dan balok guideway dengan system beton pratekan-pracetak yang akan diangkat dari bawah kemudian akan dicor menjadi satu kesatuan balok pratekan menerus yang terdiri dari 5 bentang balok guideway sepanjang 20 m.

Dalam perhitungan struktur monorel ini akan menggunakan program alat bantu SAP 2000 dengan berpedoman pada peraturan-peraturan yang ada.

4.2 Permodelan dan Pembebanan

Bagian-bagian struktur jalur monorel yang di modelkan pada SAP adalah sebagai berikut :

- Balok *Guideway* : elemen balok *guideway* sebagai jalur monorail dimodelkan menggunakan elemen beton bertulang.
- Balok Pier Head : Balok pier head sebagai tumpuan daripada balok *Guideway* dimodelkan menggunakan elemen beton bertulang.
- Kolom : elemen kolom dari tiang pancang yang diisi dengan beton bertulang.
- Pondasi : dimodelkan menggunakan beton bertulang.



Gambar 4.1. Struktur *Track Monorel*

Pembebanan pada struktur monorel ini meliputi beban mati, beban hidup (kereta), beban angin, serta beban gempa.

4.2.1. Beban Mati (*Dead Load*)

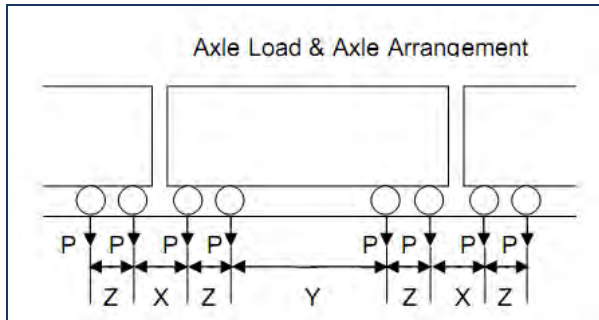
Beban mati dari struktur adalah berat sendiri dari struktur monorel itu sendiri yang meliputi balok guideway, Pier Head, Kolom, Serta Pondasi yang nanti nya akan dihitung secara otomatis oleh program SAP.

4.2.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban Hidup adalah beban dari kereta monorail sesuai dengan Design Criteria of Civil Construction of APM Bandara SOETTA Guideway sebagai berikut.

4.2.2.1 Beban Gandar

Beban gandar P di ambil sebesar 8 Ton dengan formasi sebagai berikut :



Gambar 4.2. Formasi Beban Gandar

Dimana : $X = 3,2 \text{ m}$; $Y = 5,7 \text{ m}$; $Z = 1,5 \text{ m}$

4.2.2.2 Faktor Kejut

Ketentuan beban vertikal yang bekerja harus dikalikan faktor kejut yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} (i) &= \frac{20}{50 + L} \\ &= \frac{20}{50 + 20} = 0,285 \end{aligned}$$

Jadi beban P terpusat kereta di ambil sebesar :

$$P = 8 \text{ ton} + (8 \times 0,285) = 10,28 \text{ Ton}$$

4.2.2.3 Beban Horizontal

- Beban Lateral Kendaraan

Beban lateral yang disebabkan oleh gerakan mengular kendaraan harus satu-poros dengan beban terpusat dan bergerak tegak lurus dan horizontal searah sumbu track pada puncak permukaan berjalan. Dampak dari

beban tersebut sebesar 25% dari beban gandar tunggal yang dirancang untuk kendaraan.

$$F_1 = P \times \mu_1$$

$$F_1 = 10,28 \times 0,25 = 2,57 \text{ Ton}$$

Dimana,

F_1 = Beban Lateral

P = Beban Gandar

μ_1 = Koefisien gaya lateral = 0,25

General Vehicle Data

Vehicle name: JINKA Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

☐ Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

☒ Lane Negative Moment (Support)

☒ Interior Vertical Support (Rider)

☒ All Other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048

Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects:

Axle: None

Uniform: None

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Fixed Length	0.5		0	Zero Width		10.28	One Point	
Fixed Length	1.5		0	Zero Width		10.28	One Point	
Fixed Length	5.7		0	Zero Width		10.28	One Point	
Fixed Length	1.5		0	Zero Width		10.28	One Point	
Fixed Length	3.2		0	Zero Width		10.28	One Point	
Fixed Length	1.5		0	Zero Width		10.28	One Point	
Fixed Length	5.7		0	Zero Width		10.28	One Point	

Vehicle Applies to Straddle (e.g., motor) Lanes Only

Vehicle Remains Fully In Lane (in Lane Directional Direction)

Straddle Reduction Factor

Cancel

Gambar 4.3. Input Beban Kereta pada SAP

Input beban kereta pada SAP menggunakan beban berjalan dengan beban vertikal (P) sebesar 10,28 Ton dengan jarak-jarak sesuai spesifikasi kereta.

- Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin dihitung berdasarkan kondisi di Indonesia dengan perumusan sebagai berikut.

$$F_w = A \times N_w$$

Dimana,

A = Permukaan lateral kereta atau monorail (m^2)

N_w = Beban angin sesuai kondisi di Indonesia atau lokasi (dipakai 40 kg/m^2)

$$A = P \times T$$

$$= 20 \text{ m} \times 3,6 \text{ m}$$

$$= 72 \text{ m}^2$$

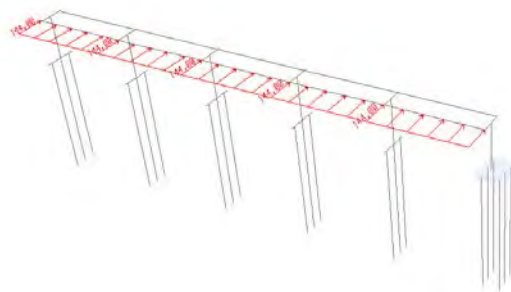
$$F_w = 72 \times 40 = 2880 \text{ kg}$$

Input Pada SAP :

$$F_w = N_w \times \text{Tinggi Kereta}$$

$$= 40 \text{ kg/m}^2 \times 3,6$$

$$= 144 \text{ kg/m} \text{ (dibebankan pada Balok Guideway)}$$



Gambar 4.4. Beban Angin

4.2.3. Beban Gempa (Earthquake Load)

Beban gempa dihitung berdasarkan peraturan RSNI 2833:201X (2013) tentang “Perencanaan Jembatan Terhadap Gempa”.

- Kategori Bangunan : Jembatan Penting dengan periode ulang 1000 tahun
- Lokasi bangunan : Cengkareng - Jakarta

Berdasarkan peta gempa pada gambar 3.9, gambar 3.10 dan gambar 3.11 maka di dapat :

- $PGA = 0,25 \text{ g}$
- $S_s = 0,4 \text{ g}$
- $S_1 = 0,25 \text{ g}$

Dari perhitungan data tanah didapat nilai $\bar{N} = 28,42$ maka dengan bantuan Tabel 4.1 “Kelas Situs” RSNI 2833:201X pasal 5.3.1 nilai \bar{N} tersebut masuk kedalam Kelas Situs **Tanah Sedang**, yaitu $15 \leq \bar{N} \leq 50$

Tabel 4.1. Kelas Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s \text{ (m/s)}$	\bar{N}	$\bar{S}_u \text{ (kPa)}$
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25 \text{ kPa}$ Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : <ul style="list-style-type: none"> - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3\text{m}$) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5\text{m}$ dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ 		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

- Dengan $PGA = 0,25g$ maka dapat dihitung nilai F_{PGA} berdasarkan tabel 4.2. berikut :

Tabel 4.2. Faktor Amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik (F_{PGA} / F_a)

Kelas situs	$PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	$PGA = 0,2$ $S_s = 0,5$	$PGA = 0,3$ $S_s = 0,75$	$PGA = 0,4$ $S_s = 1,0$	$PGA > 0,5$ $S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

$PGA = 0,2 g \Rightarrow F_{PGA} = 1,4$ dimisalkan dengan X_0 dan Y_0

$PGA = 0,3 g \Rightarrow F_{PGA} = 1,2$ dimisalkan dengan X_2 dan Y_2

Maka nilai $PGA = 0,25 g$ (dimisalkan X_1) untuk mencari nilai F_{PGA} (Y_1) digunakan rumus interpolasi,

$$F_{PGA}(Y_1) = \left(\frac{(Y_2 - Y_0) \times (X_1 - X_0)}{X_2 - X_0} \right) + Y_0$$

$$F_{PGA} = \left(\frac{(1,2 - 1,4) \times (0,25 - 0,2)}{0,3 - 0,2} \right) + 1,4$$

$$F_{PGA} = 1,3$$

- Dengan $S_s = 0,4g$ maka dapat dihitung nilai F_a berdasarkan tabel 4.2. berikut :

$S_s \leq 0,25 g \Rightarrow F_a = 1,6$ dimisalkan dengan X_0 dan Y_0

$S_s = 0,5 g \Rightarrow F_a = 1,4$ dimisalkan dengan X_2 dan Y_2

Maka nilai $S_s = 0,4 g$ (dimisalkan X_1) untuk mencari nilai F_a (Y_1) digunakan rumus interpolasi,

$$F_a(Y_1) = \left(\frac{(Y_2 - Y_0) \times (X_1 - X_0)}{X_2 - X_0} \right) + Y_0$$

$$F_a = \left(\frac{(1,4 - 1,6) \times (0,4 - 0,25)}{0,5 - 0,25} \right) + 1,6$$

$$F_a = 1,48$$

- Dengan $S_1 = 0,25g$ maka dapat dihitung nilai F_v berdasarkan tabel 4.3. berikut :

Tabel 4.3. Besarnya nilai Faktor Amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

$S_1 = 0,2 g \Rightarrow F_v = 2$ dimisalkan dengan X0 dan Y0

$S_1 = 0,3 g \Rightarrow F_v = 1,8$ dimisalkan dengan X2 dan Y2

Maka nilai $S_1 = 0,25 g$ (dimisalkan X1) untuk mencari nilai F_v (Y1) digunakan rumus interpolasi,

$$F_v(Y1) = \left(\frac{(Y2 - Y0) \times (X1 - X0)}{X2 - X0} \right) + Y0$$

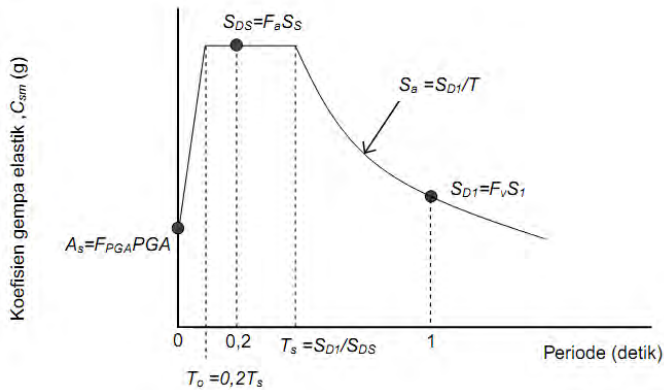
$$F_v = \left(\frac{(1,8 - 2) \times (0,25 - 0,2)}{0,3 - 0,2} \right) + 2$$

$$F_v = 1,9$$

Jadi nilai-nilai yang dibutuhkan untuk membuat grafik respons spektrum :

- $F_{PGA} = 1,3$
- $F_a = 1,48$
- $F_v = 1,9$

Respons Spektrum Rencana



Gambar 4.5. Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan Tanah (Gambar 7 RSNI 2833:201X pasal 5.4.1)

Respons spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA , S_s dan S_I), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v . Perhitungan untuk mendapatkan grafik respons spektra adalah sebagai berikut:

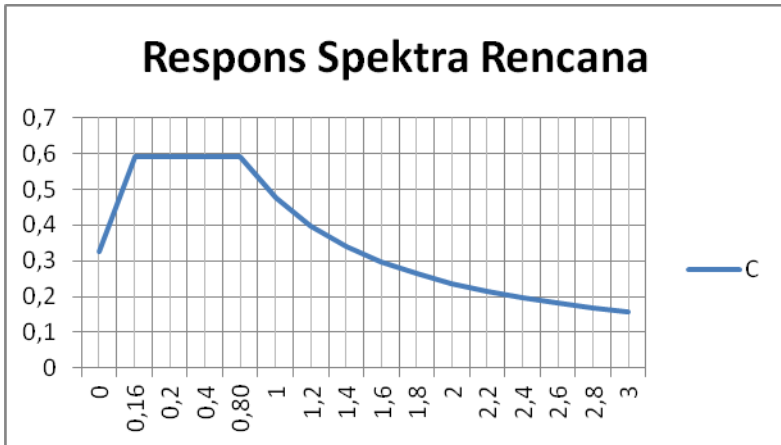
$$\begin{aligned}
 \text{➤ } A_s &= F_{PGA} \times PGA \\
 &= 1,3 \times 0,25 \\
 &= 0,325 \\
 \text{➤ } T_s &= S_{D1} / S_{DS} \\
 &= 0,475 \times 0,592 \\
 &= 0,802 \\
 \text{➤ } S_{DS} &= F_a \times S_s \\
 &= 1,48 \times 0,4 \\
 &= 0,592 \\
 \text{➤ } T_o &= 0,2 \cdot T_s \\
 &= 0,2 \times 0,802 \\
 &= 0,160 \\
 \text{➤ } S_{D1} &= F_v \times S_I \\
 &= 1,9 \times 0,25 \\
 &= 0,475
 \end{aligned}$$

Dari nilai-nilai tersebut di atas maka dapat ditabelkan Periode (T) dan Koefisien Gempa Elastik (C) nya (lihat Tabel 4.4).

Tabel 4.4. Hubungan antara Periode (T) dan Koefisien Gempa Elastik (C)

T	C
0	0,325
0,16	0,592
0,2	0,592
0,4	0,592
0,8	0,592
1	0,475
1,2	0,396
1,4	0,339
1,6	0,297
1,8	0,264
2	0,238
2,2	0,216
2,4	0,198
2,6	0,183
2,8	0,17
3	0,158

Dari data Hubungan antara periode (T) dan Koefisien Gempa Elastik (C) akan didapatkan grafik respons spectrum nya seperti pada Gambar 4.5. yang nanti nya akan di inputkan ke dalam program SAP.



Gambar 4.6. Grafik Respons Spektra Rencana

Kategori Kinerja Seismik

Menurut pasal 5.6 RSNI 2833:201X, setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu dari empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (S_{D1}), Lihat tabel 4.5 :

Tabel 4.5 Zona Gempa (RSNI 2833:201X)

Koefisien percepatan (S_{D1})	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

Dengan nilai $S_{D1} = 0,475$ maka masuk kedalam **zona gempa 3** seperti terlihat pada Tabel 4.5.

Faktor Modifikasi Respons (R)

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respons (*R*) sesuai dengan tabel 4.6 dan tabel 4.7 RSNI 2833:201X.

Tabel 4.6 Faktor Modifikasi Respons (R) Untuk bangunan bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Catatan:

Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

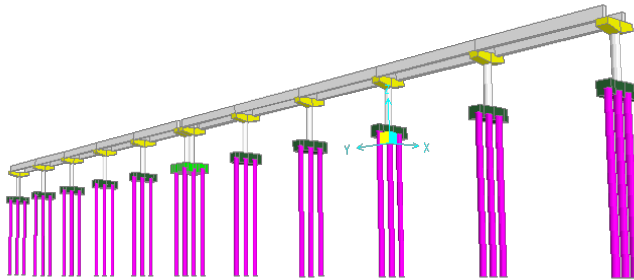
(Tabel 6 RSNI 2833:201X)

Tabel 4.7 Faktor Modifikasi Respons (R) Untuk hubungan antar elemen struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

(Tabel 7 RSNI 2833:201X)

Input pada program komputer SAP2000 nilai yang harus dimasukkan yaitu pembagian antara nilai percepatan gravitasi (g) dibagi dengan Faktor Modifikasi Respons (R) sebagai *scale factor*. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut.



Gambar 4.7. Permodelan Struktur Monorel

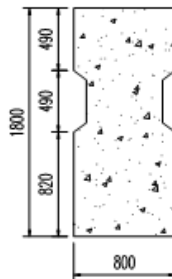
- Kolom Tunggal => Arah Sumbu $X = 9,81/2,0 = 4,9$
- Kolom Majemuk => Arah Sumbu $Y = 9,81/3,5 = 2,8$

4.3 Perencanaan Struktur Pratekan

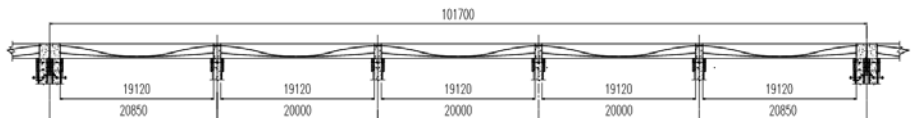
Pada perencanaan Tugas Akhir ini, beton pratekan yang direncanakan menggunakan sistem pasca tarik atau *Post tension*. Yang mana gaya prategang diberikan setelah beton mengeras, kemudian dilakukan pengangkuran dikedua ujung balok.

4.3.1 Perencanaan Struktur Balok Guideway Pratekan

Sesuai dengan kebutuhan Kereta yang akan lewat di atas Balok Guideway, maka balok Guideway di desain dengan dimensi 800 mm x 1800 mm, panjang 20000 mm. Perhitungan pratekan dilakukan dengan dua cara yaitu saat erection atau pengangkatan tiap bentang balok dan pada saat disatukan menjadi balok menerus sepanjang 100 m dengan 5 bentang balok.



Gambar 4.8. Desain balok guideway.



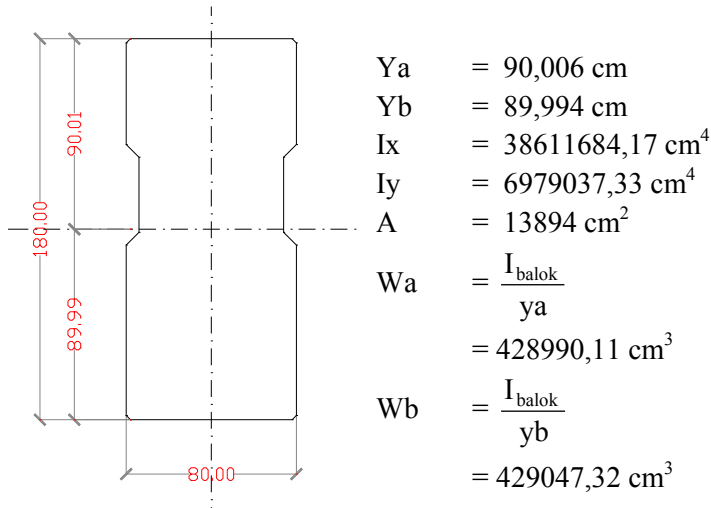
Gambar 4.9. Desain Pratekanan balok guideway tiap 100 meter.

4.3.1.1 Data dan Perancangan

Data – data yang akan digunakan dalam merancang balok induk pratekan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut,

- Mutu Beton : K-600 ($f'c$ 50 Mpa)
- Mutu Baja : 400 Mpa
- Dimensi Balok : 80/180 cm
- Bentang : 20 meter

4.3.1.2 Analisa Penampang



$$K_a = \frac{W_b}{A} = \frac{429047,32}{13894} = 30,88 \text{ cm}$$

$$K_b = \frac{W_a}{A} = \frac{428990,11}{13894} = 30,875 \text{ cm}$$

Keterangan :

K_a = Kern Atas

K_b = Kern Bawah

4.3.1.3 Tegangan Ijin

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton pada saat beton belum keras, maka digunakan kuat tekan beton pada umur 14 hari, dimana menurut *PBI'71 tabel 4.1.4* nilainya sebagai berikut,

$$f_{ci}' (\text{curing 14 hari}) = 0,8 \times 50 = 39,84 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (saat *jacking*) sesuai *SNI 03-2847-2002Ps. 20.4(1)*:

- Tegangan tekan : $\sigma_{ci} = 0,60 f_{ci}$

$$\sigma_{ci} = 0,60 \times 39,84 = 23,9 \text{ MPa}$$

$$= 239 \text{ kg/cm}^2$$
- Tegangan tarik : $\sigma_{ti} = \frac{1}{2} \times \sqrt{f_{ci}}$

$$\sigma_{ti} = \frac{1}{2} \times \sqrt{39,84} = -3,16 \text{ Mpa}$$

$$= 31,6 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan ijin beton sesaat sesudah kehilangan prategang (saat beban bekerja) sesuai *SNI 03-2847-2002Ps. 20.4(2)*:

- Tegangan tekan : $\sigma_c = 0,45 f_c'$

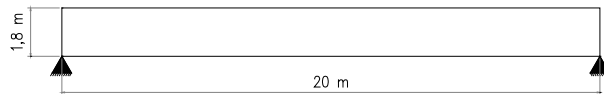
$$\sigma_c = 0,45 \times 50 = 22,5 \text{ MPa} = 225 \text{ kg/cm}^2$$
- Tegangan tarik : $\sigma_t = \frac{1}{2} \sqrt{f_c'}$

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \times \sqrt{50} = 3,56 \text{ MPa} = 35,6 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.1.4 Perhitungan Momen Akibat Beban Sendiri dan Beban Hidup Kereta.

❖ Momen Berat Sendiri Balok Guideway tiap segmen

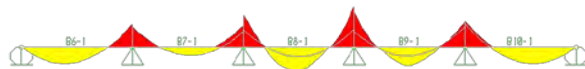
Beban yang terjadi pada balok guideway adalah berupa berat sendiri balok sebagai beban terbagi rata. Momen yang terjadi akibat berat sendiri balok diasumsikan sebagai momen pada perletakan sendi sendi karena balok beton pratekan dibuat terlebih dahulu, sebelum ada beban dari kereta. (Sebelum balok menjadi menerus sepanjang 100 meter).



$$\begin{aligned}
 q_{\text{balok}} &= A \times \text{Berat Jenis beton} \\
 &= 1,3894 \text{ m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 3334,56 \text{ kg/m} \\
 M_{\text{bs}} &= \frac{1}{8} * q * L^2 = \frac{1}{8} * 3334,56 * 20^2 \\
 &= 166728 \text{ kg.m} = 16672800 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

❖ Momen akibat Berat Sendiri + Beban Kereta

Perhitungan momen balok menerus guideway akibat beban sendiri dan beban berjalan kereta dibantu menggunakan program SAP 2000, dengan hasil output sebagai berikut :



Gambar 4.10 Bidang Momen Balok Menerus

M max tumpuan	= -379,14 T.m (1D + 1L)
M max Lapangan	= 150,35 T.m (1D + 1L)
M max Tumpuan	= -120,3 T.m (1LL)
M max Lapangan	= 73,49 T.m (1LL)

4.3.1.5 Menentukan Nilai Fo tengah bentang

- Akibat berat sendiri balok guideway

Tebal decking = 4 cm

$$E_o = Y_b - d_c = 89,994 \text{ cm} - 10 \text{ cm} = 79,99 \text{ cm}$$

✓ **Tegangan pada Serat Atas**

$$f_a = \frac{f_o}{A_c} - \frac{f_o \cdot e}{W_a} + \frac{M_b}{W_a}$$

$$-31,6 = \frac{f_o}{13894} - \frac{f_o * 79,99}{428990,11} + \frac{16672800}{428990,11}$$

$$F_o = 617959,86 \text{ kg} = 6179,60 \text{ KN}$$

✓ **Tegangan pada Serat Bawah**

$$f_b = \frac{f_o}{A_c} + \frac{f_o \cdot e}{W_b} - \frac{M_b}{W_b}$$

$$239 = \frac{f_o}{13894} + \frac{f_o * 79,99}{429047,32} - \frac{16672800}{429047,32}$$

$$F_o = 1073168,28 \text{ kg} = 10731,68 \text{ KN}$$

4.3.1.6 Kontrol Tegangan yang Terjadi

Digunakan $F_o = 617959,86 \text{ kg}$

- Akibat beban sendiri balok

✓ **Tegangan pada Serat Atas**

$$f_a = \frac{f_o}{A_c} - \frac{f_o \cdot e}{W_a} + \frac{M_b}{W_a}$$

$$f_a = \frac{617959,86}{13894} - \frac{617959,86 \times 79,99}{428990,11} + \frac{16672800}{428990,11}$$

$$f_a = -31,5 \text{ kg/cm}^2$$

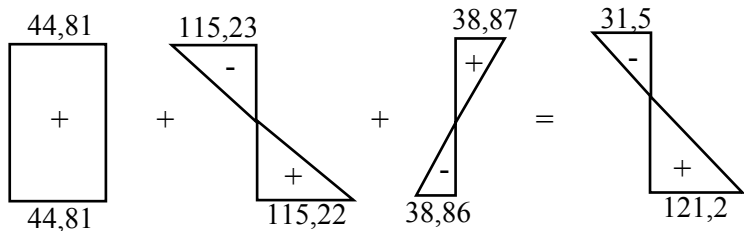
- **Akibat beban sendiri balok**

✓ Tegangan pada Serat Bawah

$$f_b = \frac{f_o}{A_c} + \frac{f_o \cdot e}{W_b} - \frac{M_b}{W_b}$$

$$f_b = \frac{617959,86}{13894} + \frac{617959,86 \times 79,99}{429047,32} - \frac{16672800}{429047,32}$$

$$f_b = 121,2 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 4.11 Diagram Tegangan Akibat Beban Sendiri Simple Beam

Dari kontrol tegangan dapat digunakan nilai F_o sebesar **617959,86 kg**

4.3.1.7 Perhitungan Tendon

Pada perencanaan balok beton pratekan jenis karakteristik kabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Uncoated seven wire stress relieved strand grade 270ASTM A416
- Diameter Nominal = 15,24 mm
- Luas Penampang Nominal (Al) = 140 mm²

- Modulus Elastisitas (E_s) $= 1,9E^6 \text{ kg/cm}^2$
- Tegangan Putus Baja $= 18600 \text{ kg/cm}^2$

Besar gaya pratekan untuk satu kabel (fpe) adalah 70% dari tegangan putus baja :

$$\begin{aligned} F_{pe} &= 70\% \times F_{pu} \\ &= 70\% \times 18600 \\ &= 13020 \text{ kg/cm}^2 = 130,2 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{ps} = \frac{F_o}{F_{pe}} = \frac{617959,86}{13020} = 47,46 \text{ cm}^2$$

$$N = \frac{A_{ps}}{A_l} = 33,9 \approx 34 \text{ Strand}$$

Jadi kabel yang digunakan 34 Strand dalam 2 Tendon dengan masing-masing tendon terdapat 17 Strand. Dari tabel Vsl diperoleh data sebagai berikut :

4.3.1.8 Menentukan Daerah Limit Kabel

❖ Perencanaan Limit Kabel pada saat di tengah bentang

Data :

$$\begin{aligned} K_a &= 30,88 \text{ cm} \\ K_b &= 30,875 \text{ cm} \\ Y_a &= 90,006 \text{ cm} \\ Y_b &= 89,994 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Batas atas (a_l) $= M_t/F$, dimana

$$F = \frac{M_t}{0,65xh} = \frac{166728}{0,65 \times 1,8} = 142502,56 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Di coba gaya sebesar : } F_o &= \mathbf{617959,86 \text{ kg}} \\ F_{eff} &= 494367,8 \text{ kg (80\% } F_o) \end{aligned}$$

$$\alpha_{\max} = \frac{166728}{494367,8} = 0,33 \text{ m} = 33,70 \text{ cm}$$

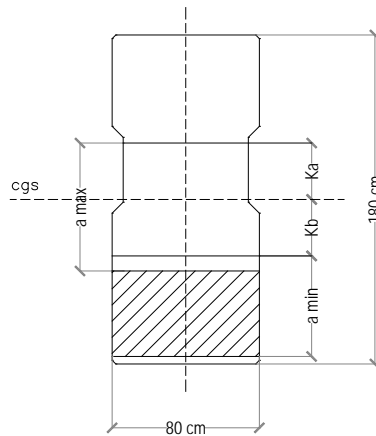
Syarat :

$$\alpha_{\max} \leq (y_b + Kt - d') = (89,994 + 30,88 - 4) = 116 \text{ cm}$$

$$33,7 < 116 \text{ cm} \dots \text{OK}$$

- Batas bawah (α_l) = Mt/F , dimana

$$\alpha_{\min} = \frac{166728}{617959,86} = 0,269 \text{ m} = 27 \text{ cm}$$



Gambar 4.12 Daerah Limit kabel pada tengah bentang

$$\text{Selisih Syarat : } a_{\min} - (Y_b - K_b - d') = 27 - (89,994 - 30,875 - 10) = -22,12$$

$$a_{\max} - K_t < e_o \text{ lapangan} < K_B + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

$$33,7 - 30,88 < e_o \text{ lapangan} < 30,875 + 27 - (-22,12)$$

$$2,82 < 61 < 79,995$$

4.3.1.9 Kehilangan Gaya Prategang

Gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif, reduksi yang mengurangi besarnya gaya prategang awal disebut sebagai kehilangan prategang dimana kehilangan prategang yang terjadi sesuai dengan tahapan tahapan kondisi beban kerja.

Reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu :

A. Kehilangan Langsung (*Immediately Loss*)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

1. Kehilangan perpendekan elastis
2. Kehilangan akibat pengangkur
3. Kehilangan akibat gesekan (Woble efek)

B. Kehilangan tak Langsung (*Time Dependent Loss*)

Kehilangan prategang yang bergantung pada waktu disebut sebagai kehilangan prategang secara tidak langsung hal ini dikarenakan hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat jacking), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan akibat susut
2. Kehilangan akibat rangkak
3. Kehilangan akibat relaksasi baja

A. Kehilangan Langsung (*Immediately Loss*)

1. Kehilangan Pratekan Akibat Perpendekan Elastis

Beton mengalami perpendekan saat gaya pratekan ditransfer dari kabel ke beton, beton akan mengalami perpendekan.

Kehilangan pratekan dapat dihitung dengan rumus :

$$ES = K_{ES} \cdot E_s \cdot \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

Dimana :

ES = Perpendekan elastisitas

K_{ES} = 0.5 koefisien untuk struktur pascatarik

E_s = Modulus Elastisitas baja (200000Mpa)

f_{cir} = Tegangan beton pada garis yang melalui cgs

E_{ci} = Modulus elastisitas beton (33167,48 mpa)

$$f_{cir} = \frac{F_1}{A} + \frac{F_1 \cdot e^2}{I} - \frac{M_G \cdot e}{I}$$

Dimana :

F_1 = Gaya yang terjadi

e = Eksentrisitas

M_G = Momen pada gelagar

A = Luas penampang masing-masing

I_{xc} = Momen Inersia

$$\begin{aligned} f_{cir} &= \frac{617959,86}{13894} + \frac{617959,86 \times 61^2}{38611684,17} - \frac{16672800 \times 61}{38611684,17} \\ &= 77,68 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 7,768 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$ES = K_{ES} \cdot E_s \cdot \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

$$ES = 0,5 \times 200000 \times \frac{7,768}{33167,48} = 23,42 \text{ Mpa}$$

Untuk mencari Nilai ES , perlu dikalikan dengan Aps :

$$ES = 23,42 \times 4746 = 111166,95 \text{ N}$$

Persentase kehilangan prategang akibat perpendekan elastis adalah :

$$\% = \frac{111166,95}{6179598,6} \times 100\% = 1,79 \%$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang akibat perpendekan elastis adalah sebesar 111166,95 N

Dengan sisa gaya prategang sebesar :

$$F1 = F0 - ES = 6179598,6 - 111166,95 = 6068431,6 \text{ N}$$

2. Kehilangan Akibat Slip Angkur

Besarnya slip angker tergantung pada jenis angker yang berbentuk baji dan tegangan pada kabel, dalam perhitungan ini digunakan asumsi slip (g) sebesar 2,5 mm . Persamaan yang digunakan yaitu :

$$ANC = \frac{\Delta a \times Es}{L}$$

Dimana :

ANC = Kehilangan pratekan pada baja

Δa = Deformasi total pada angker (asumsi 2,5mm)

L = Panjang total Kabel (diambil 20 m)

E_s = 200000 Mpa

$$ANC = \frac{2,5 \times 200000}{20000} \times A_{ps} = 118650 \text{ N}$$

Persentase kehilangan prategang akibat Slip Angkur adalah :

$$\% = \frac{118650}{6179598,6} \times 100\% = 1,92 \%$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang akibat Slip angkur adalah sebesar 118650 N

Dengan sisa gaya prategang sebesar :

$$\begin{aligned} F_2 &= F_1 - F_{ANC} \\ &= 6068431,6 \text{ N} - 118650 \text{ N} \\ &= 5949781,65 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Kehilangan Akibat Wobble Efek

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi di antara tendon dan bahan-bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam aliyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai woble effect.

Besarnya nilai kehilangan tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_{pF} = F_i \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

$$\Delta f_{pF} = F_i - F_{pF}$$

$$F_{pF} = \text{Gaya prategang setelah terjadi kehilangan akibat friction}$$

Δf_{pF} = Besarnya gaya kehilangan prategang akibat friksi

F_i = Gaya awal prategang

α = Sudut Kelengkungan

μ = Koefisien friksi (gesekan)

K = Koefisien woble

L = Panjang balok

$$\alpha = \frac{8f}{L} \text{ dengan } f \text{ adalah panjang fokus tendon (dari cgs)}$$

$$= \frac{8 \times 450}{20000} = 0,18 \text{ rad}$$

Sedangkan nilai K dan μ didapat dari Tabel 14 SNI 03-2847-2002 pasal 20.6.1 tentang friksi dan wobble efek, untuk kawat strand dengan untai 7 kawat didapat nilai $K = 0,0016$ - $0,0066$ diambil $K = 0,0016/m$ dan $\mu = 0,15$ - $0,25$ diambil $\mu = 0,15$.

Sehingga nilai F kehilangan akibat friksi adalah sebagai berikut:

$$F_{pF} = F_i \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

$$= 5949781,65 \times 2,718^{-((0,15 \times 0,18) + (0,0016 \times 20))}$$

$$= 5608933,75$$

$$\Delta f_{pF} = F_i - F_{pF}$$

$$= 5949781,65 - 5608933,75 = 340847,9 \text{ N}$$

Persentase kehilangan prategang akibat gesekan dan *wobble effect* adalah :

$$\% = \frac{340847,9}{6179598,6} \times 100\% = 5,5 \%$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang akibat wobble efek adalah sebesar 340847,9 kg.

Total kehilangan akibat proses kehilangan langsung:

$$\Delta F_H = \Delta F_{p_{ES}} + \Delta F_{p_{ANC}} + \Delta F_{p_F}$$

$$\begin{aligned}\Delta F_H &= 111166,95 + 118650 + 340847,9 \\ &= 570664,85 \text{ N (total kehilangan} = 9,23 \text{ \%)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{\text{eff}} &= F_0 - \Delta F_H \\ &= 6179598,6 - 570664,85 = \mathbf{5608933,75 \text{ N}}\end{aligned}$$

B. Kehilangan tak Langsung (Time Dependent Loss)

1. Kehilangan Akibat Susut beton

Pada saat beton mengalami susut, panjang balok total diperkecil akibat kabel yang kehilangan sebagian dari perpanjangan semula. Gaya prategang berkurang setelah berlalunya waktu akibat susut beton. Penyusutan beton tergantung pada factor, seperti mutu semen dalam 1 m³ beton banyaknya air dan kelembaban udara.

Persamaan yang digunakan yaitu :

$$\Delta F_H = \xi_{SH} \times K_{SH} \times E_s$$

(Lyn, T.Y., Burns, Ned H., Desain Struktur Beton Prategang, Jilid 1, Edisi Ketiga, halaman 108)

Dimana :

$$\xi_{SH} = 8,2 \times 10^{-6} \times \left(1 - 0,06 \times \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

(jika satuan dalam cm dikali 0,0236, jika dalam inch 0,06)

$$\begin{aligned}
 v &= \text{Luas Penampang} = 13894 \text{ cm}^2 \\
 S &= \text{Keliling balok yang berhubungan dengan udara terbuka} = 525,254 \text{ cm} \\
 v/s &= 13894 / 525,254 = 26,45 \\
 RH &= \text{kelembaban udara, diasumsikan sebesar } 75\% \\
 K_{sh} &= 0,58 \text{ (umur di atas 28 hari)} \\
 \xi_{SH} &= 8,2 \times 10^{-6} \times \left(1 - 0,06 \times \frac{v}{s} \right) \times (100 - RH) \\
 &= 8,2 \cdot 10^{-6} (1 - 0,0236 \times 0,06 \times 26,45) \times (100 - 75) \\
 &= 0,000197 \\
 SH &= \xi_{SH} \times K_{SH} \times E_s \\
 &= 0,000197 \times 0,58 \times 200000 \\
 &= 22,88 \text{ Mpa} \\
 F_{pSH} &= 22,88 \times A_{ps} = 108632,9 \text{ N} \\
 \text{Procentase Kehilangan } \% &= \frac{108632,9}{6179598,6} \times 100\% = \mathbf{1,75 \%}
 \end{aligned}$$

2. Kehilangan Akibat Rangkak Beton

Rangkak pada beton adalah deformasi plastis dari beton yang merupakan fungsi waktu (beban tetap). Regangan rangkak tergantung pada waktu, umur beton pada saat pembebanan, kelembaban udara dan jenis beton yang digunakan.

Persamaan yang digunakan :

$$CR = KCR \times \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana :

$KCR = 1,6 \Rightarrow$ untuk post tension

f_{cir} = Tegangan beton didaerah cgs oleh gaya F_o

$$= f_{cir} = \frac{f_o}{A_c} + \frac{f_o \cdot e^2}{I_x} - \frac{Mg \cdot e}{I_x}$$

f_{cds} = Tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur

$$\text{setelah diberi } f_o = \frac{Mg \cdot e}{I_x}$$

$$f_o = 617959,86 \text{ kg} = 6179,59 \text{ kN}$$

$$Mg = 166728 \text{ kg.m} = 1667,28 \text{ kN.m}$$

$$I = 38611684,17 \text{ cm}^4$$

$$f_{cir} = 7,76 \text{ Mpa}$$

$$f_{cds} = 2,63 \text{ Mpa}$$

$$n = 6,03$$

$$CR = 1,6 \times 6,03(7,76 - 2,63)$$

$$= 49,54 \text{ Mpa}$$

$$F_{CR} = CR \times A_{ps} = 235123,83 \text{ N}$$

$$\text{Procentase kehilangan \%} = \frac{235123,83}{6179598,6} \times 100\% = \mathbf{3,8 \%}$$

3. Kehilangan Akibat Relaksasi baja

yaitu kehilangan gaya prategang secara perlahan-lahan yang besarnya tergantung pada lamanya waktu dan

perbandingan f_{pi}/f_{py} , dimana regangan yang terjadi pada kabel konstan tetapi tegangan nya berkurang.

Persamaan yang digunakan :

$$RE = [K_{RE} - J \cdot (SH + CR + ES)] \times C$$

Dimana :

- Tipe tendon yang digunakan yaitu strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 Mpa, maka didapat nilai:
- $J=0,04$ dan $K_{RE} = 35$ Mpa (Strand Relaksasi Rendah)
- $C = 0,75$

$$\begin{aligned} RE &= [35 - 0,04 \cdot (22,8 + 49,5 + 23,4)] \times 0,75 \\ &= 32,12 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{RE} = RE \times A_{ps} = 152462,289 \text{ N}$$

$$\text{Procentase kehilangan}\% = \frac{152462,289}{6179598,6} \times 100\% = \mathbf{2,46\%}$$

Total kehilangan akibat proses kehilangan Tak langsung:

$$\Delta F_H = \Delta F_{p_{SH}} + \Delta F_{p_{CR}} + \Delta F_{p_{RE}}$$

$$\begin{aligned} \Delta F_H &= 108632,9 + 235123,83 + 152462,289 \\ &= 496219,036 \text{ N (total kehilangan} = 8,02\%) \end{aligned}$$

4.3.1.10 Kontrol Tegangan saat Balok Segmental 20 meter

$$F_{\text{eff}} = F_0 - \Delta F_H$$

$$= 6179598,6 - 570664,85 = \mathbf{5608933,75 \text{ N}}$$

✓ Tegangan pada Serat Atas

$$f_a = \frac{F_{\text{eff}}}{A_c} - \frac{F_{\text{eff}} \cdot e \cdot y_a}{I} + \frac{M \cdot Y_a}{I}$$

$$f_a = \frac{560893,375}{13894} - \frac{560893,375 \times 61 \times 90,006}{428990,11} + \frac{16672800 \times 90,006}{428990,11}$$

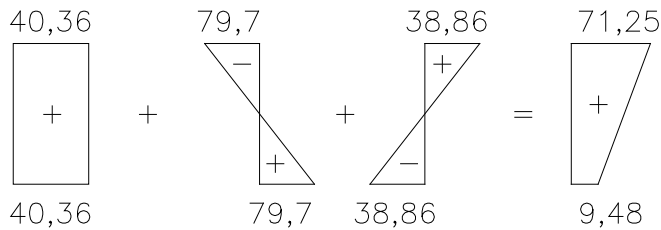
$$f_a = 71,26 \text{ kg/cm}^2$$

✓ Tegangan pada Serat Bawah

$$f_b = \frac{F_{\text{eff}}}{A_c} + \frac{F_{\text{eff}} \cdot e \cdot y_a}{I} - \frac{M \cdot y_a}{I}$$

$$f_b = \frac{560893,375}{13894} + \frac{560893,375 \times 61 \times 90,006}{428990,11} - \frac{16672800 \times 90,006}{428990,11}$$

$$f_b = 9,48 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 4.13 Diagram Tegangan Akibat Beban Sendiri Simple Beam setelah kehilangan

4.3.1.11 Kontrol Lendutan Simple Beam (20 meter)

Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komeponen tersebut. Kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang disyaratkan

Lendutan Ijin

Lendutan ijin pada komponen beton prategang harus memenuhi syarat Tabel 9 SNI-03-2847-2002 pasal 11.5 yaitu lendutan untuk konstruksi yang menahan atau yang disatukan oleh komponen non struktural sebesar:

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{480} = \frac{20000}{480} = 41,66 \text{ mm}$$

Lendutan Awal Saat Jacking

Pada saat awal trasnfer gaya prategang nilai lendutan yang terjadi adalah sebagai berikut:

▪ Lendutan Akibat Tekanan Tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke arah atas. Sedangkan syarat ijin lendutan mengarah ke bawah, sehingga lendutan akibat tendon dapat melawan lendutan kebawah yang diakibatkan oleh beban dan berat sendiri.

$$\Delta l_{p0} = \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times l^4}{E_c \times I}$$

dengan nilai P sebesar :

$$p_o = \frac{8 \times F_o \times f}{l^2}$$

Dimana :

F_o = Gaya Awal Prategang (sebelum kehilangan, N)

f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs, mm)

- l = Panjang Efektif (dalam mm)
 E_C = Modulus Elastisitas Beton (MPa)
 I = Inertia Balok (dalam mm)

$$p_o = \frac{8 \times 6179598,6 \times 610}{20000^2} = 75,39 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta l_{po} &= \frac{5}{384} \times \frac{75,39 \times 20000^4}{33167,48408 \times 38611684,17 \times 10^4} \\ &= 12,26 \text{ mm } (\uparrow) \end{aligned}$$

▪ Lendutan Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri balok menyebabkan balok melendut ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah. Besarnya lendutan ke bawah akibat berat sendiri adalah:

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_C \times I}$$

Dimana :

- q_o = Berat sendiri saat jacking (N/mm)
 = 33,3456 N/mm
 f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs, mm)
 l = Panjang Efektif (dalam mm)
 E_C = Modulus Elastisitas Beton (MPa)
 I = Inertia Balok (dalam mm)

$$\Delta l_{qO} = \frac{5}{384} \times \frac{33,3456 \times 20000^4}{33167,48408 \times 3,86117E+11} = 5,42 \text{ mm } (\downarrow)$$

Total lendutan pada saat awal transfer gaya prategang sebesar (dengan mengasumsikan tanda $(-)$ adalah lendutan ke atas karena berlawanan arah dengan arah terjadinya lendutan):

$$\begin{aligned} \Delta l_A &= \Delta l_{pO} + \Delta l_{qO} \\ &= -12,26 + 5,42 = -6,84 \text{ mm } (\uparrow) \end{aligned}$$

Lendutan arah ke bawah belum terjadi

4.3.1.12 Perhitungan Pratekan Balok Guideway Menerus 100 meter

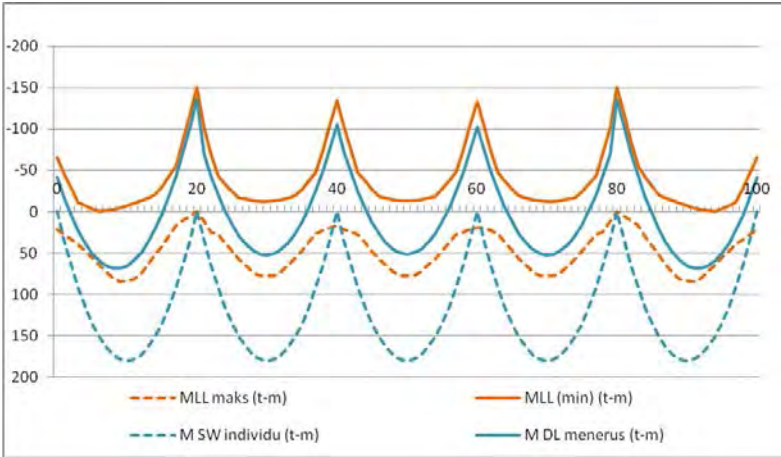
Tabel 4.8. Momen pada balok menerus

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	M	M	M	M	Mu	Mu
				DL awal	DL menerus	LL maks	LL min	LL maks	LL min
Text	m	Text	Text	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
11	0	APM INKA	LinMoving	0	-41.38037	21.90586	-64.94143	35.04937	-103.90628
11	1	APM INKA	LinMoving	34.2	-16.89712	27.84594	-46.52263	44.55351	-74.4362
11	2	APM INKA	LinMoving	64.8	4.51058	33.78603	-28.10383	54.05765	-44.96612
11	3	APM INKA	UnMoving	91.8	22.84273	40.01708	-11.699	64.02733	-18.7184
11	4	APM INKA	LinMoving	115.2	38.09934	48.00413	-7.44885	76.80661	-11.91816
11	5	APM INKA	LinMoving	135	50.2804	55.99118	-3.19871	89.58589	-5.11793
11	6	APM INKA	LinMoving	151.2	59.38592	64.07983	-0.45738	102.52773	-0.7318
11	7	APM INKA	LinMoving	163.8	65.41589	72.42302	-1.49601	115.87683	-2.39361
11	8	APM INKA	LinMoving	172.8	68.37032	80.76621	-2.53464	129.22593	-4.05542
11	9	APM INKA	LinMoving	178.2	68.2492	84.83353	-4.37987	135.73365	-7.00779
11	10	APM INKA	LinMoving	180	65.05254	83.19638	-7.30118	133.11421	-11.6819
11	11	APM INKA	LinMoving	178.2	58.78033	81.55923	-10.2225	130.49477	-16.356
11	12	APM INKA	LinMoving	172.8	49.43258	74.64073	-13.35512	119.42517	-21.36819
11	13	APM INKA	LinMoving	163.8	37.00928	63.76353	-16.64611	102.02164	-26.63378
11	14	APM INKA	LinMoving	151.2	21.51044	52.88632	-19.9371	84.61811	-31.89937
11	15	APM INKA	LinMoving	135	2.93605	41.1636	-29.9556	65.86177	-47.92895
11	16	APM INKA	LinMoving	115.2	-18.71388	29.10339	-42.65944	46.56543	-68.2551
11	17	APM INKA	LinMoving	91.8	-43.43936	17.04318	-55.36328	27.26908	-88.58125
11	18	APM INKA	LinMoving	64.8	-71.24039	10.72849	-85.15099	17.16559	-136.24159
11	19	APM INKA	LinMoving	34.2	-102.11695	5.36582	-117.76942	8.58531	-188.43107
11	20	APM INKA	LinMoving	0	-136.06907	0.00314	-150.38784	0.00502	-240.62055
12	21	APM INKA	LinMoving	34.2	-69.00753	11.75	-100.81331	34.85453	-161.3013
12	22	APM INKA	LinMoving	64.8	-43.22472	24.32229	-70.68213	38.91566	-113.0914
12	23	APM INKA	LinMoving	91.8	-20.51745	27.91115	-43.46368	44.65784	-69.54188
12	24	APM INKA	LinMoving	115.2	-0.88573	37.84086	-33.82409	60.54537	-54.11855
12	25	APM INKA	LinMoving	135	15.67044	47.77057	-24.18451	76.43291	-38.69522
12	26	APM INKA	LinMoving	151.2	29.15108	57.13023	-16.82447	91.40837	-26.91916
12	27	APM INKA	LinMoving	163.8	39.55616	65.06179	-15.17528	104.09886	-24.28045
12	28	APM INKA	LinMoving	172.8	46.8857	72.99334	-13.52609	116.78935	-21.64174
12	29	APM INKA	LinMoving	178.2	51.1397	77.5204	-12.66342	124.03264	-20.26147
12	30	APM INKA	LinMoving	180	52.31815	77.50547	-12.85005	124.00876	-20.56008
12	31	APM INKA	LinMoving	178.2	50.42105	77.49055	-13.03669	123.98488	-20.8587
12	32	APM INKA	LinMoving	172.8	45.44841	72.75564	-14.4008	116.40902	-23.04129
12	33	APM INKA	LinMoving	163.8	37.40023	64.4828	-16.64752	103.17248	-26.63603
12	34	APM INKA	LinMoving	151.2	26.2765	56.20996	-18.89423	89.93594	-30.23077
12	35	APM INKA	LinMoving	135	12.07722	46.68906	-26.95612	74.70249	-43.12979
12	36	APM INKA	LinMoving	115.2	-5.1976	36.66997	-37.3392	58.67195	-59.74272
12	37	APM INKA	LinMoving	91.8	-25.54796	26.65088	-47.72227	42.6414	-76.35564
12	38	APM INKA	LinMoving	64.8	-48.97388	22.6988	-74.57182	36.31808	-119.31492
12	39	APM INKA	LinMoving	34.2	-75.47533	19.75199	-104.14979	31.60319	-166.63966
12	40	APM INKA	LinMoving	0	-105.05233	16.80519	-133.72776	26.8883	-213.96441
13	41	APM INKA	LinMoving	34.2	-73.13974	21.67918	-104.01742	34.68669	-166.42787
13	42	APM INKA	LinMoving	64.8	-46.9976	24.23054	-74.47141	38.76887	-119.15425
13	43	APM INKA	LinMoving	91.8	-23.93101	27.8295	-47.64764	44.52719	-76.23622
13	44	APM INKA	LinMoving	115.2	-3.93997	37.75083	-37.25308	60.40133	-59.60492
13	45	APM INKA	LinMoving	135	12.97553	47.67217	-26.85851	76.27548	-42.97362
13	46	APM INKA	LinMoving	151.2	26.81548	57.03009	-18.8096	91.24815	-30.09536
13	47	APM INKA	LinMoving	163.8	37.57989	64.9765	-16.63713	103.96241	-26.61941
13	48	APM INKA	LinMoving	172.8	45.26875	72.92292	-14.46467	116.67666	-23.14347
13	49	APM INKA	LinMoving	178.2	49.88207	77.46486	-13.22295	123.94377	-21.15672

Tabel 4.8b. Lanjutan

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	M	M	M	M	Mu	Mu
				DL awal	DL menerus	LL maks	LL min	LL maks	LL min
Text	m	Text	Text	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
13	50	APMINKA	LinMoving	180	51.41984	77.46486	-13.22295	123.94377	-21.15672
13	51	APMINKA	LinMoving	178.2	49.88207	77.46486	-13.22295	123.94377	-21.15672
13	52	APMINKA	LinMoving	172.8	45.26875	72.92292	-14.46467	116.67666	-23.14347
13	53	APMINKA	LinMoving	163.8	37.57989	64.9765	-16.63713	103.96241	-26.61941
13	54	APMINKA	LinMoving	151.2	26.81548	57.03009	-18.8096	91.24815	-30.09536
13	55	APMINKA	LinMoving	135	12.97553	47.67217	-26.85851	76.27548	-42.97362
13	56	APMINKA	LinMoving	115.2	-3.93997	37.75083	-37.25308	60.40133	-59.60492
13	57	APMINKA	LinMoving	91.8	-23.93101	27.8295	-47.64764	44.52719	-76.23622
13	58	APMINKA	LinMoving	64.8	-46.9976	24.23054	-74.47141	38.76887	-119.15425
13	59	APMINKA	LinMoving	34.2	-73.13974	21.67918	-104.01742	34.68669	-166.42787
13	60	APMINKA	LinMoving	0	-102.35742	19.12782	-133.56343	30.60451	-213.70148
14	61	APMINKA	LinMoving	34.2	-75.47533	19.75199	-104.14979	31.60319	-166.63966
14	62	APMINKA	LinMoving	64.8	-48.97388	22.6988	-74.57182	36.31808	-119.31492
14	63	APMINKA	LinMoving	91.8	-25.54796	26.65088	-47.72227	42.6414	-76.35564
14	64	APMINKA	LinMoving	115.2	-5.1976	36.66997	-37.3392	58.67195	-59.74272
14	65	APMINKA	LinMoving	135	12.07722	46.68906	-26.95612	74.70249	-43.12979
14	66	APMINKA	LinMoving	151.2	26.2765	56.20996	-18.89423	89.93594	-30.23077
14	67	APMINKA	LinMoving	163.8	37.40023	64.4828	-16.64752	103.17248	-26.63603
14	68	APMINKA	LinMoving	172.8	45.44841	72.75564	-14.4008	116.40902	-23.04129
14	69	APMINKA	LinMoving	178.2	50.42105	77.49055	-13.03669	123.98488	-20.8587
14	70	APMINKA	LinMoving	180	52.31815	77.50547	-12.85005	124.00876	-20.56008
14	71	APMINKA	LinMoving	178.2	51.1397	77.5204	-12.66342	124.03264	-20.26147
14	72	APMINKA	LinMoving	172.8	46.8857	72.99334	-13.52609	116.78935	-21.64174
14	73	APMINKA	LinMoving	163.8	39.55616	65.06179	-15.17528	104.09886	-24.28045
14	74	APMINKA	LinMoving	151.2	29.15108	57.13023	-16.82447	91.40837	-26.91916
14	75	APMINKA	LinMoving	135	15.67044	47.77057	-24.18451	76.43291	-38.69522
14	76	APMINKA	LinMoving	115.2	-0.88573	37.84086	-33.82409	60.54537	-54.11855
14	77	APMINKA	LinMoving	91.8	-20.51745	27.91115	-43.46368	44.65784	-69.54188
14	78	APMINKA	LinMoving	64.8	-43.22472	24.32229	-70.68213	38.91566	-113.0914
14	79	APMINKA	LinMoving	34.2	-69.00753	11.75	-100.81331	34.85453	-161.3013
14	80	APMINKA	LinMoving	0	-136.06907	0.00314	-150.38784	30.79339	-209.51119
15	81	APMINKA	LinMoving	34.2	-102.11695	5.36582	-117.76942	8.58531	-188.43107
15	82	APMINKA	LinMoving	64.8	-71.24039	10.72849	-85.15099	17.16559	-136.24159
15	83	APMINKA	LinMoving	91.8	-43.43936	17.04318	-55.36328	27.26908	-88.58125
15	84	APMINKA	LinMoving	115.2	-18.71388	29.10339	-42.65944	46.56543	-68.2551
15	85	APMINKA	LinMoving	135	2.93605	41.1636	-29.9556	65.86177	-47.92895
15	86	APMINKA	LinMoving	151.2	21.51044	52.88632	-19.9371	84.61811	-31.89937
15	87	APMINKA	LinMoving	163.8	37.00928	63.76353	-16.64611	102.02164	-26.63378
15	88	APMINKA	LinMoving	172.8	49.43258	74.64073	-13.35512	119.42517	-21.36819
15	89	APMINKA	LinMoving	178.2	58.78033	81.55923	-10.2225	130.49477	-16.356
15	90	APMINKA	LinMoving	180	65.05254	83.19638	-7.30118	133.11421	-11.6819
15	91	APMINKA	LinMoving	178.2	68.2492	84.83353	-4.37987	135.73365	-7.00779
15	92	APMINKA	LinMoving	172.8	68.37032	80.76621	-2.53464	129.22593	-4.05542
15	93	APMINKA	LinMoving	163.8	65.41589	72.42302	-1.49601	115.87683	-2.39361
15	94	APMINKA	LinMoving	151.2	59.38592	64.07983	-0.45738	102.52773	-0.7318
15	95	APMINKA	LinMoving	135	50.2804	55.99118	-3.19871	89.58589	-5.11793
15	96	APMINKA	LinMoving	115.2	38.09934	48.00413	-7.44885	76.80661	-11.91816
15	97	APMINKA	LinMoving	91.8	22.84273	40.01708	-11.699	64.02733	-18.7184
15	98	APMINKA	LinMoving	64.8	4.51058	33.78603	-28.10383	54.05765	-44.96612
15	99	APMINKA	LinMoving	34.2	-16.89712	27.84594	-46.52263	44.55351	-74.4362
15	100	APMINKA	LinMoving	0	-41.38037	21.90586	-64.94143	35.04937	-103.90628

Bila digambarkan dalam diagram, maka gaya dalam momen pada balok dapat dilihat pada Gambar 4.13. berikut ini :



Gambar 4.14. Diagram Momen

4.3.1.13Perhitungan Kehilangan Pratekan Balok Guideway Menerus 100 meter

$F2 = F1.(1-(K.L+υ.α)$

- K 0.003 Koef. Wobble (/m)
- υ 0.2 Koef. Kelengkungan
- α sudut yang terbentuk dari garis singgung di titik 1 dengan garis singgung di titik 2 (radian)

$Δ F_{ES} = Kes.n.Aps.fcir$

- K ES 0.5 post tension
- 1 pre tension

$$\Delta F_{ES} = K_{ES} \cdot n \cdot A_{ps} \cdot f_{cir}$$

K _{ES}	0.5	post tension
	1	pre tension

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s (1 - 0,06 \cdot V/S) (100 - RH)$$

V =	1440000	mm ³ /mm
S =	0	mm ² /mm
V/S =	2.77	
RH =	80%	
K _{sh} =	0.7	(14 hari curing)

$$CR = K_{cr} \cdot E_s / E_c \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

K _{cr} =	1.6	post tension
f _{cds} =	0	akibat tambahan bbn mati

$$RE = [K_{re} - J \cdot (SH + CR + ES)] \cdot C$$

K _{re} =	138	untuk fp = 0.7 fpu strand stressed relieved 1860
J =	0.15	untuk fp = 0.7 fpu strand stressed relieved 1861
C =	1	untuk fp = 0.7 fpu strand stressed relieved 1862

Perhitungan Kehilangan pratekan dan gaya pratekan pada tendon akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 4.9. Tabel Perhitungan Gaya Prategang

% jack masing2 arah n strands diameter Aps					45% 12 15 1801.2 mm2	% jack masing2 arah n strands diameter Aps					45% 12 15 1801.2 mm2			
x mm	z mm	A mm2	α	Fo kN	eff	Ditarik dari ujung lain				Fo kN	Σ Fo kN	Σ Fo THD fpu		
						x mm	z mm	A mm2	α					
		1808.52		1513.731					1808.52		1513.731			
-1000	500			1513.731		109000	500				885.71	2399.44	71%	
-750	477		0.002	1511.97	99.884%	108750	477		0.002		886.74	2398.71	71%	
-500	452		0.002	1510.21	99.884%	108500	452		0.002		887.77	2397.98	71%	
-250	427		0.002	1508.46	99.884%	108250	427		0.002		888.80	2397.26	71%	
0	400		0.002	1506.71	99.884%	108000	400		0.002		889.84	2396.54	71%	
0	400		0.002	1506.71	99.959%	108000	400		0.002		889.84	2396.54	71%	
1000	283		0.008	1499.71	99.535%	107000	283		0.008		893.99	2393.70	71%	
2000	150		0.008	1492.74	99.536%	106000	150		0.008		898.16	2390.90	71%	
3000	0		0.008	1485.82	99.536%	105000	0		0.008		902.35	2388.16	71%	
4000	-133		0.010	1478.41	99.502%	104000	-133		0.010		906.87	2385.28	71%	
5000	-245		0.010	1471.03	99.501%	103000	-245		0.010		911.41	2382.45	71%	
6000	-337		0.010	1463.68	99.500%	102000	-337		0.010		915.99	2379.67	71%	
7000	-408		0.010	1456.36	99.500%	101000	-408		0.010		920.60	2376.96	71%	
8000	-459		0.010	1449.07	99.499%	100000	-459		0.010		925.23	2374.30	71%	
9000	-490		0.010	1441.80	99.499%	99000	-490		0.010		929.89	2371.69	71%	
10000	-500		0.010	1434.57	99.498%	98000	-500		0.010		934.58	2369.15	70%	
11000	-490		0.010	1427.36	99.498%	97000	-490		0.010		939.30	2366.66	70%	
12000	-459		0.010	1420.19	99.497%	96000	-459		0.010		944.04	2364.23	70%	
13000	-408		0.010	1413.05	99.497%	95000	-408		0.010		948.81	2361.86	70%	
14000	-337		0.010	1405.94	99.497%	94000	-337		0.010		953.61	2359.55	70%	
15000	-245		0.010	1398.86	99.497%	93000	-245		0.010		958.44	2357.30	70%	
16000	-133		0.010	1391.81	99.496%	92000	-133		0.010		963.29	2355.10	70%	
17000	0		0.010	1384.81	99.496%	91000	0		0.010		968.17	2352.97	70%	
18000	150		0.008	1378.48	99.543%	90000	150		0.008		972.61	2351.09	70%	
19000	283		0.008	1372.20	99.544%	89000	283		0.008		977.06	2349.26	70%	
20000	400		0.008	1365.95	99.545%	88000	400		0.008		981.53	2347.48	70%	
20000	400		0.008	1365.95	99.845%	88000	400		0.008		981.53	2347.48	70%	
20250	427		0.002	1364.40	99.886%	87750	427		0.002		982.65	2347.04	70%	
20500	452		0.002	1362.85	99.886%	87500	452		0.002		983.77	2346.61	70%	
20750	477		0.002	1361.30	99.886%	87250	477		0.002		984.88	2346.18	70%	
21000	500		0.002	1359.75	99.886%	87000	500		0.002		986.00	2345.76	70%	
21250	477		0.002	1358.21	99.886%	86750	477		0.002		987.13	2345.33	70%	
21500	452		0.002	1356.67	99.886%	86500	452		0.002		988.25	2344.91	70%	
21750	427		0.002	1355.13	99.887%	86250	427		0.002		989.37	2344.50	70%	
22000	400		0.002	1353.59	99.887%	86000	400		0.002		990.49	2344.08	70%	
22000	400		0.002	1353.59	99.959%	86000	400		0.002		990.49	2344.08	70%	
23000	283		0.008	1347.30	99.535%	85000	283		0.008		995.12	2342.42	70%	
24000	150		0.008	1341.05	99.536%	84000	150		0.008		999.76	2340.80	70%	
25000	0		0.008	1334.82	99.536%	83000	0		0.008		1004.42	2339.24	70%	

Tabel 4.9b. Lanjutan

% jack masing2 arah 45%						% jack masing2 arah 45%						
n strands			12			n strands			12			
diameter			15			diameter			15			
Aps			1801.2 mm2			Aps			1801.2 mm2			
x mm	z mm	A mm2	α	Fo kN	eff	Ditarik dari ujung lain				Fo kN	Σ Fo kN	Σ Fo THD fpu
						x mm	z mm	A mm2	α			
26000	-133		0.010	1328.17	99.502%	82000	-133		0.010	1009.45	2337.62	69%
27000	-245		0.010	1321.54	99.501%	81000	-245		0.010	1014.51	2336.05	69%
28000	-337		0.010	1314.94	99.500%	80000	-337		0.010	1019.61	2334.55	69%
29000	-408		0.010	1308.36	99.500%	79000	-408		0.010	1024.73	2333.09	69%
30000	-459		0.010	1301.81	99.499%	78000	-459		0.010	1029.89	2331.70	69%
31000	-490		0.010	1295.28	99.499%	77000	-490		0.010	1035.08	2330.36	69%
32000	-500		0.010	1288.78	99.498%	76000	-500		0.010	1040.30	2329.08	69%
33000	-490		0.010	1282.31	99.498%	75000	-490		0.010	1045.55	2327.86	69%
34000	-459		0.010	1275.87	99.497%	74000	-459		0.010	1050.83	2326.70	69%
35000	-408		0.010	1269.45	99.497%	73000	-408		0.010	1056.14	2325.59	69%
36000	-337		0.010	1263.06	99.497%	72000	-337		0.010	1061.49	2324.55	69%
37000	-245		0.010	1256.70	99.497%	71000	-245		0.010	1066.86	2323.56	69%
38000	-133		0.010	1250.37	99.496%	70000	-133		0.010	1072.26	2322.63	69%
39000	0		0.010	1244.08	99.496%	69000	0		0.010	1077.68	2321.76	69%
40000	150		0.008	1238.40	99.543%	68000	150		0.008	1082.63	2321.02	69%
41000	283		0.008	1232.75	99.544%	67000	283		0.008	1087.59	2320.34	69%
42000	400		0.008	1227.14	99.545%	66000	400		0.008	1092.56	2319.70	69%
42000	400		0.008	1227.14	99.845%	66000	400		0.008	1092.56	2319.70	69%
42250	427		0.002	1225.74	99.886%	65750	427		0.002	1093.80	2319.55	69%
42500	452		0.002	1224.35	99.886%	65500	452		0.002	1095.05	2319.40	69%
42750	477		0.002	1222.96	99.886%	65250	477		0.002	1096.29	2319.25	69%
43000	500		0.002	1221.57	99.886%	65000	500		0.002	1097.54	2319.11	69%
43250	477		0.002	1220.18	99.886%	64750	477		0.002	1098.79	2318.97	69%
43500	452		0.002	1218.80	99.886%	64500	452		0.002	1100.04	2318.83	69%
43750	427		0.002	1217.41	99.887%	64250	427		0.002	1101.29	2318.70	69%
44000	400		0.002	1216.03	99.887%	64000	400		0.002	1102.54	2318.57	69%
44000	400		0.002	1216.03	99.959%	64000	400		0.002	1102.54	2318.57	69%
45000	283		0.008	1210.38	99.535%	63000	283		0.008	1107.68	2318.07	69%
46000	150		0.008	1204.76	99.536%	62000	150		0.008	1112.85	2317.61	69%
47000	0		0.008	1199.17	99.536%	61000	0		0.008	1118.04	2317.21	69%
48000	-133		0.010	1193.20	99.502%	60000	-133		0.010	1123.64	2316.83	69%
49000	-245		0.010	1187.24	99.501%	59000	-245		0.010	1129.27	2316.52	69%
50000	-337		0.010	1181.31	99.500%	58000	-337		0.010	1134.95	2316.25	69%
51000	-408		0.010	1175.40	99.500%	57000	-408		0.010	1140.65	2316.05	69%
52000	-459		0.010	1169.51	99.499%	56000	-459		0.010	1146.39	2315.91	69%
53000	-490		0.010	1163.65	99.499%	55000	-490		0.010	1152.17	2315.82	69%
54000	-500		0.010	1157.81	99.498%	54000	-500		0.010	1157.98	2315.79	69%
55000	-490		0.010	1152.00	99.498%	53000	-490		0.010	1163.82	2315.82	69%
56000	-459		0.010	1146.21	99.497%	52000	-459		0.010	1169.70	2315.91	69%
57000	-408		0.010	1140.44	99.497%	51000	-408		0.010	1175.61	2316.06	69%
58000	-337		0.010	1134.70	99.497%	50000	-337		0.010	1181.56	2316.26	69%
59000	-245		0.010	1128.99	99.497%	49000	-245		0.010	1187.54	2316.53	69%

Tabel 4.9c. Lanjutan

% jack masing2 arah 45% n strands 12 diameter 15 Aps 1801.2 mm2						% jack masing2 arah 45% n strands 12 diameter 15 Aps 1801.2 mm2					
x mm	z mm	A mm2	α	Fo kN	eff	Ditarik dari ujung lain					Σ Fo THD fpu
						x mm	z mm	A mm2	α	Fo kN	
60000	-133		0.010	1123.31	99.496%	48000	-133		0.010	1193.55	69%
61000	0		0.010	1117.65	99.496%	47000	0		0.010	1199.59	69%
62000	150		0.008	1112.55	99.543%	46000	150		0.008	1205.09	69%
63000	283		0.008	1107.47	99.544%	45000	283		0.008	1210.61	69%
64000	400		0.008	1102.43	99.545%	44000	400		0.008	1216.15	69%
64000	400		0.008	1102.43	99.845%	44000	400		0.008	1216.15	69%
64250	427		0.002	1101.18	99.886%	43750	427		0.002	1217.53	69%
64500	452		0.002	1099.93	99.886%	43500	452		0.002	1218.92	69%
64750	477		0.002	1098.68	99.886%	43250	477		0.002	1220.31	69%
65000	500		0.002	1097.43	99.886%	43000	500		0.002	1221.69	69%
65250	477		0.002	1096.18	99.886%	42750	477		0.002	1223.08	69%
65500	452		0.002	1094.94	99.886%	42500	452		0.002	1224.47	69%
65750	427		0.002	1093.70	99.887%	42250	427		0.002	1225.86	69%
66000	400		0.002	1092.45	99.887%	42000	400		0.002	1227.26	69%
66000	400		0.002	1092.45	99.959%	42000	400		0.002	1227.26	69%
67000	283		0.008	1087.38	99.535%	41000	283		0.008	1232.98	69%
68000	150		0.008	1082.33	99.536%	40000	150		0.008	1238.73	69%
69000	0		0.008	1077.31	99.536%	39000	0		0.008	1244.51	69%
70000	-133		0.010	1071.94	99.502%	38000	-133		0.010	1250.74	69%
71000	-245		0.010	1066.59	99.501%	37000	-245		0.010	1257.02	69%
72000	-337		0.010	1061.26	99.500%	36000	-337		0.010	1263.33	69%
73000	-408		0.010	1055.95	99.500%	35000	-408		0.010	1269.68	69%
74000	-459		0.010	1050.66	99.499%	34000	-459		0.010	1276.07	69%
75000	-490		0.010	1045.40	99.499%	33000	-490		0.010	1282.50	69%
76000	-500		0.010	1040.15	99.498%	32000	-500		0.010	1288.97	69%
77000	-490		0.010	1034.93	99.498%	31000	-490		0.010	1295.47	69%
78000	-459		0.010	1029.73	99.497%	30000	-459		0.010	1302.02	69%
79000	-408		0.010	1024.55	99.497%	29000	-408		0.010	1308.60	69%
80000	-337		0.010	1019.39	99.497%	28000	-337		0.010	1315.22	69%
81000	-245		0.010	1014.26	99.497%	27000	-245		0.010	1321.87	69%
82000	-133		0.010	1009.15	99.496%	26000	-133		0.010	1328.56	69%
83000	0		0.010	1004.07	99.496%	25000	0		0.010	1335.29	70%
84000	150		0.008	999.48	99.543%	24000	150		0.008	1341.41	70%
85000	283		0.008	994.93	99.544%	23000	283		0.008	1347.56	70%
86000	400		0.008	990.40	99.545%	22000	400		0.008	1353.72	70%
86000	400		0.008	990.40	99.845%	22000	400		0.008	1353.72	70%
86250	427		0.002	989.27	99.886%	21750	427		0.002	1355.26	70%
86500	452		0.002	988.15	99.886%	21500	452		0.002	1356.80	70%
86750	477		0.002	987.02	99.886%	21250	477		0.002	1358.35	70%
87000	500		0.002	985.90	99.886%	21000	500		0.002	1359.89	70%

Tabel 4.9d. Lanjutan

% jack masing2 arah 45%						% jack masing2 arah 45%						
n strands 12						n strands 12						
diameter 15						diameter 15						
Aps 1801.2 mm2						Aps 1801.2 mm2						
x mm	z mm	A mm2	α	Fo kN	eff	Ditarik dari ujung lain				Fo kN	Σ Fo kN	Σ Fo THD fpu
						x mm	z mm	A mm2	α			
87250	477		0.002	984.78	99.886%	20750	477		0.002	1361.44	2346.22	70%
87500	452		0.002	983.67	99.886%	20500	452		0.002	1362.98	2346.65	70%
87750	427		0.002	982.55	99.887%	20250	427		0.002	1364.53	2347.08	70%
88000	400		0.002	981.44	99.887%	20000	400		0.002	1366.08	2347.52	70%
88000	400		0.002	981.44	99.959%	20000	400		0.002	1366.08	2347.52	70%
89000	283		0.008	976.88	99.535%	19000	283		0.008	1372.46	2349.33	70%
90000	150		0.008	972.34	99.536%	18000	150		0.008	1378.86	2351.20	70%
91000	0		0.008	967.83	99.536%	17000	0		0.008	1385.29	2353.12	70%
92000	-133		0.010	963.01	99.502%	16000	-133		0.010	1392.23	2355.23	70%
93000	-245		0.010	958.20	99.501%	15000	-245		0.010	1399.21	2357.41	70%
94000	-337		0.010	953.41	99.500%	14000	-337		0.010	1406.24	2359.65	70%
95000	-408		0.010	948.64	99.500%	13000	-408		0.010	1413.31	2361.95	70%
96000	-459		0.010	943.89	99.499%	12000	-459		0.010	1420.42	2364.31	70%
97000	-490		0.010	939.16	99.499%	11000	-490		0.010	1427.58	2366.74	70%
98000	-500		0.010	934.45	99.498%	10000	-500		0.010	1434.78	2369.22	70%
99000	-490		0.010	929.75	99.498%	9000	-490		0.010	1442.02	2371.77	71%
100000	-459		0.010	925.08	99.497%	8000	-459		0.010	1449.30	2374.38	71%
101000	-408		0.010	920.43	99.497%	7000	-408		0.010	1456.63	2377.06	71%
102000	-337		0.010	915.80	99.497%	6000	-337		0.010	1463.99	2379.79	71%
103000	-245		0.010	911.19	99.497%	5000	-245		0.010	1471.40	2382.59	71%
104000	-133		0.010	906.60	99.496%	4000	-133		0.010	1478.85	2385.45	71%
105000	0		0.010	902.03	99.496%	3000	0		0.010	1486.34	2388.37	71%
106000	150		0.008	897.91	99.543%	2000	150		0.008	1493.15	2391.07	71%
107000	283		0.008	893.82	99.544%	1000	283		0.008	1499.99	2393.81	71%
108000	400		0.008	889.74	99.544%	0	400		0.008	1506.86	2396.61	71%
108000	400		0.008	889.74	99.844%	0	400		0.008	1506.86	2396.61	71%
108250	427		0.002	888.73	99.886%	-250	427		0.002	1508.58	2397.31	71%
108500	452		0.002	887.72	99.886%	-500	452		0.002	1510.29	2398.02	71%
108750	477		0.002	886.71	99.886%	-750	477		0.002	1512.01	2398.73	71%
109000	500		0.002	885.71	99.886%	-1000	500		0.002	1513.73	2399.44	71%

Tabel 4.10. Tabel Perhitungan F_{eff}

x mm	z mm	M bs t-m	Δ F slip and 3% kN	fcir N/mm²	Δ F ES kN	F saat transfer kN	Δ F SH kN	Δ F CR kN	Δ F RE kN	F eff kN
-1000	500	-41.38	71.983	2.677	32.507	2294.95	0.6897	93.041	478.2	1723.02
-750	477	-41.38	71.656	2.5597	31.083	2295.97	0.6897	88.966	479.02	1727.29
-500	452	-41.38	71.329	2.4447	29.686	2296.97	0.6897	84.966	479.83	1731.48
-250	427	-41.38	71.002	2.3327	28.326	2297.93	0.6897	81.074	480.62	1735.55
0	400	-41.38	70.674	2.2248	27.016	2298.85	0.6897	77.324	481.38	1739.46
0	400	-41.38	70.674	2.22	27.016	2298.9	0.690	77.324	481.38	1739.46
1000	283	-16.897	69.366	2.03	24.692	2299.6	0.690	70.673	482.72	1745.55
2000	150	4.51058	68.057	1.78	21.631	2301.2	0.690	61.911	484.5	1754.12
3000	0	22.8427	66.748	1.66	20.139	2301.3	0.690	57.641	485.36	1757.59
4000	-133	38.0993	65.439	1.89	23.004	2296.8	0.690	65.841	483.7	1746.60
5000	-245	50.2804	64.13	2.34	28.399	2289.9	0.690	81.284	480.58	1727.37
6000	-337	59.3859	62.822	2.86	34.741	2282.1	0.690	99.433	476.9	1705.09
7000	-408	65.4159	61.513	3.36	40.752	2274.7	0.690	116.64	473.42	1683.95
8000	-459	68.3703	60.204	3.74	45.463	2268.6	0.690	130.12	470.69	1667.13
9000	-490	68.2492	58.895	3.97	48.211	2264.6	0.690	137.99	469.1	1656.81
10000	-500	65.0525	57.587	4.01	48.636	2262.9	0.690	139.2	468.85	1654.18
11000	-490	58.7803	56.278	3.84	46.682	2263.7	0.690	133.61	469.98	1659.42
12000	-459	49.4326	54.969	3.51	42.596	2266.7	0.690	121.92	472.35	1671.71
13000	-408	37.0093	53.66	3.04	36.924	2271.3	0.690	105.68	475.64	1689.27
14000	-337	21.5104	52.351	2.51	30.516	2276.7	0.690	87.342	479.35	1709.30
15000	-245	2.93605	51.043	2.02	24.519	2281.7	0.690	70.177	482.82	1728.05
16000	-133	-18.714	49.734	1.81	21.93	2283.4	0.690	62.767	484.32	1735.66
17000	0	-43.439	48.425	1.63	19.842	2284.7	0.690	56.792	485.53	1741.69
18000	150	-71.24	47.116	1.49	18.141	2285.8	0.690	51.922	486.52	1746.70
19000	283	-102.12	45.807	1.37	16.665	2286.8	0.690	47.697	487.37	1751.03
20000	400	-136.07	44.499	1.20	14.528	2288.5	0.690	41.58	488.61	1757.57
20000	400	-136.07	44.499	1.1963	14.528	2288.45	0.6897	41.58	488.61	1757.57
20250	427	-136.07	44.171	1.2354	15.002	2287.87	0.6897	42.939	488.34	1755.91
20500	452	-136.07	43.844	1.281	15.555	2287.21	0.6897	44.521	488.02	1753.99
20750	477	-136.07	43.517	1.3319	16.174	2286.49	0.6897	46.293	487.66	1751.85
21000	500	-136.07	43.19	1.3875	16.848	2285.72	0.6897	48.223	487.27	1749.54
21250	477	-136.07	42.863	1.3309	16.161	2286.31	0.6897	46.255	487.67	1751.7
21500	452	-136.07	42.535	1.2789	15.53	2286.85	0.6897	44.449	488.03	1753.68
21750	427	-136.07	42.208	1.2325	14.966	2287.32	0.6897	42.836	488.36	1755.44
22000	400	-136.07	41.881	1.1926	14.482	2287.72	0.6897	41.45	488.64	1756.94
22000	400	-136.07	41.881	1.19	14.482	2287.7	0.690	41.45	488.64	1756.94
23000	283	-69.008	40.572	1.61	19.52	2282.3	0.690	55.868	485.72	1740.05
24000	150	-43.225	39.264	1.59	19.359	2282.2	0.690	55.41	485.81	1740.27
25000	0	-20.517	37.955	1.62	19.726	2281.6	0.690	56.46	485.6	1738.81

Tabel 4.10b. Lanjutan

x mm	z mm	M bs t-m	Δ F slip and 3% kN	fcir N/mm ²	Δ F ES kN	F saat transfer kN	Δ F SH kN	Δ F CR kN	Δ F RE kN	F eff kN
26000	-133	-0.8857	36.646	1.73	21.034	2279.9	0.690	60.203	484.84	1734.21
27000	-245	15.6704	35.337	2.08	25.274	2275.4	0.690	72.338	482.39	1720.03
28000	-337	29.1511	34.028	2.55	31.02	2269.5	0.690	88.785	479.06	1700.97
29000	-408	39.5562	32.72	3.04	36.857	2263.5	0.690	105.49	475.68	1681.66
30000	-459	46.8857	31.411	3.44	41.742	2258.5	0.690	119.47	472.85	1665.54
31000	-490	51.1397	30.102	3.70	44.935	2255.3	0.690	128.61	471	1655.03
32000	-500	52.3182	28.793	3.79	45.997	2254.3	0.690	131.65	470.38	1651.57
33000	-490	50.4211	27.484	3.69	44.786	2255.6	0.690	128.18	471.08	1655.64
34000	-459	45.4484	26.176	3.41	41.461	2259.1	0.690	118.67	473.01	1666.70
35000	-408	37.4002	24.867	3.00	36.48	2264.2	0.690	104.41	475.89	1683.25
36000	-337	26.2765	23.558	2.52	30.598	2270.4	0.690	87.577	479.3	1702.82
37000	-245	12.0772	22.249	2.05	24.87	2276.4	0.690	71.183	482.62	1721.95
38000	-133	-5.1976	20.941	1.74	21.078	2280.6	0.690	60.329	484.82	1734.78
39000	0	-25.548	19.632	1.61	19.579	2282.5	0.690	56.038	485.69	1740.14
40000	150	-48.974	18.323	1.56	18.909	2283.8	0.690	54.122	486.07	1742.91
41000	283	-75.475	17.014	1.54	18.706	2284.6	0.690	53.539	486.19	1744.20
42000	400	-105.05	15.705	1.48	18.029	2286.0	0.690	51.603	486.58	1747.09
42000	400	-105.05	15.705	1.4847	18.029	2285.96	0.6897	51.603	486.58	1747.09
42250	427	-105.05	15.378	1.5438	18.746	2285.42	0.6897	53.655	486.17	1744.91
42500	452	-105.05	15.051	1.6084	19.531	2284.81	0.6897	55.902	485.71	1742.51
42750	477	-105.05	14.724	1.6777	20.373	2284.16	0.6897	58.31	485.23	1739.93
43000	500	-105.05	14.397	1.7507	21.259	2283.45	0.6897	60.848	484.71	1737.2
43250	477	-105.05	14.069	1.6773	20.368	2284.53	0.6897	58.297	485.23	1740.32
43500	452	-105.05	13.742	1.6077	19.523	2285.57	0.6897	55.878	485.72	1743.28
43750	427	-105.05	13.415	1.5428	18.734	2286.55	0.6897	53.621	486.17	1746.07
44000	400	-105.05	13.088	1.4835	18.014	2287.47	0.6897	51.56	486.59	1748.63
44000	400	-105.05	13.088	1.48	18.014	2287.5	0.690	51.56	486.59	1748.63
45000	283	-73.14	11.779	1.56	18.888	2287.4	0.690	54.059	486.09	1746.57
46000	150	-46.998	10.47	1.56	18.971	2288.2	0.690	54.298	486.04	1747.15
47000	0	-23.931	9.1615	1.61	19.541	2288.5	0.690	55.928	485.71	1746.18
48000	-133	-3.94	7.8527	1.73	20.974	2288.0	0.690	60.031	484.88	1742.41
49000	-245	12.9755	6.5439	2.05	24.866	2285.1	0.690	71.172	482.62	1730.62
50000	-337	26.8155	5.2351	2.52	30.556	2280.5	0.690	87.455	479.33	1712.99
51000	-408	37.5799	3.9264	3.00	36.373	2275.8	0.690	104.1	475.96	1695.00
52000	-459	45.2688	2.6176	3.40	41.273	2272.0	0.690	118.13	473.12	1680.08
53000	-490	49.8821	1.3088	3.67	44.511	2270.0	0.690	127.4	471.24	1670.67
54000	-500	51.4198	0	3.76	45.641	2270.1	0.690	130.63	470.59	1668.24
55000	-490	49.8821	1.3088	3.67	44.511	2270.0	0.690	127.4	471.24	1670.67
56000	-459	45.2688	2.6176	3.40	41.273	2272.0	0.690	118.13	473.12	1680.08
57000	-408	37.5799	3.9264	3.00	36.373	2275.8	0.690	104.1	475.96	1695.01
58000	-337	26.8155	5.2351	2.52	30.556	2280.5	0.690	87.456	479.33	1713.00
59000	-245	12.9755	6.5439	2.05	24.867	2285.1	0.690	71.172	482.62	1730.64

Tabel 4.10c. Lanjutan

x mm	z mm	M bs t-m	Δ F slip and 3% kN	fcir N/mm ²	Δ F ES kN	F saat transfer kN	Δ F SH kN	Δ F CR kN	Δ F RE kN	F eff kN
60000	-133	-3.94	7.8527	1.73	20.974	2288.0	0.690	60.032	484.88	1742.43
61000	0	-23.931	9.1615	1.61	19.541	2288.5	0.690	55.929	485.71	1746.21
62000	150	-46.998	10.47	1.56	18.971	2288.2	0.690	54.298	486.04	1747.17
63000	283	-73.14	11.779	1.56	18.888	2287.4	0.690	54.06	486.09	1746.58
64000	400	-102.36	13.088	1.51	18.351	2287.1	0.690	52.524	486.4	1747.53
64000	400	-102.36	13.088	1.5112	18.351	2287.14	0.6897	52.524	486.4	1747.53
64250	427	-102.36	13.415	1.5724	19.094	2286.2	0.6897	54.649	485.97	1744.9
64500	452	-102.36	13.742	1.6391	19.904	2285.2	0.6897	56.968	485.5	1742.05
64750	477	-102.36	14.069	1.7104	20.77	2284.14	0.6897	59.446	485	1739.01
65000	500	-102.36	14.397	1.7854	21.68	2283.05	0.6897	62.053	484.47	1735.83
65250	477	-102.36	14.724	1.7107	20.774	2283.77	0.6897	59.459	484.99	1738.63
65500	452	-102.36	15.051	1.6398	19.912	2284.45	0.6897	56.992	485.49	1741.27
65750	427	-102.36	15.378	1.5734	19.106	2285.08	0.6897	54.683	485.96	1743.74
66000	400	-102.36	15.705	1.5125	18.366	2285.64	0.6897	52.567	486.39	1745.99
66000	400	-102.36	15.705	1.51	18.366	2285.6	0.690	52.567	486.39	1745.99
67000	283	-75.475	17.014	1.54	18.706	2284.6	0.690	53.54	486.19	1744.22
68000	150	-48.974	18.323	1.56	18.91	2283.8	0.690	54.123	486.07	1742.95
69000	0	-25.548	19.632	1.61	19.579	2282.6	0.690	56.04	485.68	1740.19
70000	-133	-5.1976	20.941	1.74	21.079	2280.7	0.690	60.33	484.82	1734.83
71000	-245	12.0772	22.249	2.05	24.871	2276.5	0.690	71.184	482.62	1721.99
72000	-337	26.2765	23.558	2.52	30.599	2270.4	0.690	87.579	479.3	1702.86
73000	-408	37.4002	24.867	3.00	36.48	2264.3	0.690	104.41	475.89	1683.29
74000	-459	45.4484	26.176	3.41	41.461	2259.1	0.690	118.67	473.01	1666.73
75000	-490	50.4211	27.484	3.69	44.786	2255.6	0.690	128.19	471.08	1655.67
76000	-500	52.3182	28.793	3.79	45.997	2254.3	0.690	131.65	470.38	1651.61
77000	-490	51.1397	30.102	3.70	44.936	2255.4	0.690	128.61	471	1655.06
78000	-459	46.8857	31.411	3.44	41.743	2258.6	0.690	119.47	472.85	1665.58
79000	-408	39.5562	32.72	3.04	36.858	2263.6	0.690	105.49	475.68	1681.71
80000	-337	29.1511	34.028	2.55	31.021	2269.6	0.690	88.788	479.06	1701.03
81000	-245	15.6704	35.337	2.08	25.275	2275.5	0.690	72.34	482.39	1720.10
82000	-133	-0.8857	36.646	1.73	21.035	2280.0	0.690	60.206	484.84	1734.30
83000	0	-20.517	37.955	1.62	19.727	2281.7	0.690	56.463	485.6	1738.92
84000	150	-43.225	39.264	1.59	19.36	2282.3	0.690	55.412	485.81	1740.36
85000	283	-69.008	40.572	1.61	19.52	2282.4	0.690	55.87	485.72	1740.11
86000	400	-136.07	41.881	1.19	14.482	2287.8	0.690	41.451	488.64	1756.98
86000	400	-136.07	41.881	1.1926	14.482	2287.75	0.6897	41.451	488.64	1756.98
86250	427	-136.07	42.208	1.2325	14.967	2287.36	0.6897	42.838	488.36	1755.47
86500	452	-136.07	42.535	1.2789	15.53	2286.88	0.6897	44.451	488.03	1753.71
86750	477	-136.07	42.863	1.3309	16.162	2286.35	0.6897	46.257	487.66	1751.74
87000	500	-136.07	43.19	1.3875	16.849	2285.76	0.6897	48.225	487.27	1749.57

Tabel 4.10d. Lanjutan

x mm	z mm	M bs t-m	Δ F slip and 3% kN	fcir N/mm ²	Δ F ES kN	F saat transfer kN	Δ F SH kN	Δ F CR kN	Δ F RE kN	F eff kN
87250	477	-136.07	43.517	1.332	16.175	2286.53	0.6897	46.295	487.66	1751.89
87500	452	-136.07	43.844	1.281	15.556	2287.25	0.6897	44.523	488.02	1754.02
87750	427	-136.07	44.171	1.2355	15.003	2287.91	0.6897	42.941	488.34	1755.94
88000	400	-136.07	44.499	1.1964	14.528	2288.49	0.6897	41.582	488.61	1757.61
88000	400	-136.07	44.499	1.20	14.528	2288.5	0.690	41.582	488.61	1757.61
89000	283	-102.12	45.807	1.37	16.665	2286.9	0.690	47.699	487.37	1751.10
90000	150	-71.24	47.116	1.49	18.142	2285.9	0.690	51.925	486.52	1746.81
91000	0	-43.439	48.425	1.63	19.843	2284.8	0.690	56.795	485.53	1741.83
92000	-133	-18.714	49.734	1.81	21.931	2283.6	0.690	62.77	484.32	1735.78
93000	-245	2.93605	51.043	2.02	24.52	2281.8	0.690	70.18	482.82	1728.15
94000	-337	21.5104	52.351	2.51	30.517	2276.8	0.690	87.346	479.35	1709.40
95000	-408	37.0093	53.66	3.04	36.926	2271.4	0.690	105.69	475.64	1689.35
96000	-459	49.4326	54.969	3.51	42.597	2266.7	0.690	121.92	472.35	1671.79
97000	-490	58.7803	56.278	3.84	46.683	2263.8	0.690	133.62	469.98	1659.49
98000	-500	65.0525	57.587	4.01	48.637	2263.0	0.690	139.21	468.85	1654.25
99000	-490	68.2492	58.895	3.97	48.212	2264.7	0.690	137.99	469.1	1656.89
100000	-459	68.3703	60.204	3.74	45.464	2268.7	0.690	130.13	470.69	1667.21
101000	-408	65.4159	61.513	3.36	40.753	2274.8	0.690	116.64	473.42	1684.04
102000	-337	59.3859	62.822	2.86	34.742	2282.2	0.690	99.437	476.9	1705.20
103000	-245	50.2804	64.13	2.34	28.401	2290.1	0.690	81.288	480.57	1727.50
104000	-133	38.0993	65.439	1.89	23.006	2297.0	0.690	65.846	483.7	1746.77
105000	0	22.8427	66.748	1.66	20.141	2301.5	0.690	57.646	485.36	1757.78
106000	150	4.51058	68.057	1.78	21.632	2301.4	0.690	61.915	484.5	1754.28
107000	283	-16.897	69.366	2.03	24.693	2299.8	0.690	70.676	482.72	1745.66
108000	400	-41.38	70.674	2.22	27.017	2298.9	0.690	77.327	481.38	1739.52
108000	400	-41.38	70.674	2.2248	27.017	2298.91	0.6897	77.327	481.38	1739.52
108250	427	-41.38	71.002	2.3327	28.327	2297.98	0.6897	81.076	480.62	1735.6
108500	452	-41.38	71.329	2.4447	29.686	2297	0.6897	84.968	479.83	1731.51
108750	477	-41.38	71.656	2.5598	31.084	2295.99	0.6897	88.967	479.02	1727.31
109000	500	-41.38	71.983	2.677	32.507	2294.95	0.6897	93.041	478.2	1723.02

4.3.1.14 kontrol tegangan – tegangan girder Guideway untuk yang bentangan 100 meter adalah sebagai berikut :

Tabel 4.11. Perhitungan Tegangan Girder Guideway 100 meter

	UJUNG	TENGAH	TUMPUAN
Mbs (T-M)			
M (DL) (T-M)	-41.38	68.37	-136.07
M (LL) (T-M)	-64.94	84.83	-150.39
M (total) (T-M)	-106.32	153.20	-286.46
Aps 3 (mm ²)	12 stands	diam 15 mm	1801.2
Aps 4 (mm ²)	12 stands	diam 15 mm	1801.2
e (mm)	700.00	-600.00	700.00
Fo (kN)	2399.44	2315.79	2345.79
ΔF (kN) SA =	71.98	0.00	0.00
f_{cir} (Mpa) = $F_o / A_c + F_o \cdot e^2 / I - M_{bs} \cdot e / I$	4.69	3.75	4.59
ΔF (kN) ES =	56.95	45.57	55.68
F awal (kN)	2270.50	2270.22	2290.11
ΔF (kN) SH =	0.158	0.158	0.158
ΔF (kN) CR =	182.256	145.814	178.181
ΔF (kN) RE =	461.226	468.400	462.028
Feff (kN)	1626.86	1655.85	1649.75
teg sisi atas ftop (Mpa)	1.30	2.40	-2.81
teg sisi bwh fbot (Mpa)	3.59	-2.39	7.78
Kondisi penampang	aman	aman	aman

4.3.2 Perencanaan Struktur Pier Head (Precast-Prestressed)

Perencanaan balok Pier Head monorel menggunakan balok beton pracetak dengan data perencanaan sebagai berikut :

Data Perencanaan Balok :

• b	=	1600	mm
• h	=	1600	mm
• Decking	=	70	mm
• Tulangan Pokok	=	32	mm
• Sengkang	=	16	mm
• Mutu Beton	=	K-600 ($f'_c = 50$ Mpa)	
• Mutu Baja	=	400	Mpa

$$d = 1600 - 70 - 16 - (1/2 \times 32) = 1498 \text{ mm}$$

$$d' = 1600 - 1498 = 102 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30) \\ &= 0.85 - 0.008 \times (50 - 30) \\ &= 0.69\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0.85 \times 50 \times 0.69}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,044 \\ &= 0,033\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.0035 \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50} \\
 &= 9,41
 \end{aligned}$$

❖ **Perhitungan Tumpuan**

Mu tumpuan kanan = 3.963.880.414 Nmm

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{0.8} = \frac{3.963.880.414}{0.8} \\
 &= 4954850518 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Perencanaan Tulangan Tunggal :

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{4954850518}{600 \times 1498^2} \\
 &= 1,37 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= 0,00351
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, pakai ρ

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,00351 \times 1600 \times 1498 \\
 &= 8407,91 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,5 \times 8407,91 \\
 &= 4203,95 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 574.059.306 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{574.059.306}{0.75} = 765.412.408 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 1600 \times 1600 = 2560000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 6400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ &= 1600 - (2 \times 70) - (2 \times 8) = 1444 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ &= 1600 - (2 \times 70) - (2 \times 8) = 1444 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 1444 \times 1444 = 2085136 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 2085136 = 1772365,6 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (1444 + 1444) = 5776 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{2560000^2}{6400} \right) \\ &= 452.548.340 \text{ Nmm} \\ &= 452.548.340 \text{ Nmm} < T_u = 574.059.306 \text{ Nmm} \\ &\quad \text{(Torsi diperhitungkan)} \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{765.412.408}{2 \times 1772365,6 \times 400 \times \cot 45} = 0,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

$$= 0,89 \times 5776 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times \cot^2 45 = 3118,02 \text{ mm}^2$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{3118,023}{4} = 779,51 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya tulangan torsi disebar merata pada keempat sisi balok. Khusus untuk tulangan lentur atas dan bawah luasannya ditambahkan dengan tulangan torsi

$$\begin{aligned} \text{Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 8407,91 + 779,51 = 9187,41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lentur Bawah} &= A_s' + \frac{A_l}{4} \\ &= 4203,95 + 779,51 = 4983,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{A_l / 4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{779,51}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 3,86 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4D 16 ($A_{s_{pasang}} = 804,64 \text{ mm}^2$)

Jumlah Tulangan tumpuan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s_{\text{perlu tarik}}} = 9187,41 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **12D25** ($A_{s_{pasang}} = 9650,97 \text{ mm}^2$)

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s'_{\text{perlu tekan}}} = 4983,46 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **7D25** ($A_{s_{pasang}} = 5629,73 \text{ mm}^2$)

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkan}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{1600 - (2 \times 70) - (2 \times 16) - (12 \times 32)}{12 - 1} \\
 &= 94,9 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang:

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{9650,97 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 600} = 56,77 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 9187,41 \cdot 400 \cdot \left(1498 - \frac{56,77}{2} \right) \\
 &= 5.673.284.833 \text{ Nmm} > 3.963.880.414 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 ps 23.10.4.1 bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 5629,73 \text{ mm}^2 \geq 1/3 A_{s \text{ aktual}} = 1/3 \times 9187,41 \\
 &= 3062 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Geser

- Momen lapangan positif

$$A_s = 3.926,99 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = 56,77 \text{ mm}$$

$$Mn^+ = As * fy * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 5.673.284.833 \text{ Nmm}$$

- Momen lapangan negatif

$$As = 5629,73 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As.pasang * fy}{0,85 * f'c * b} = \frac{5629,73 * 400}{0,85 * 50 * 600} = 33,11 \text{ mm}$$

$$Mn^- = As * fy * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 5629,73 * 400 * \left(1498 - \frac{33,11}{2} \right)$$

$$= 3.336.049.686 \text{ Nmm}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$Vu = \frac{Mn^- + Mn^+}{ln} + Vu$$

$$= \frac{3.336.049.686 + 5.673.284.833}{2880} + 881.330$$

$$= 4.009.571 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} * b_w * d$$

$$= 2824655,889 \text{ N}$$

$$Vs_{\min} = \frac{1}{3} * b_w * d$$

$$= 798933,3 \text{ N}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $4.009.571 \text{ N} > 1059245,95 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $4.009.571 \text{ N} > 2118491,916 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{smin})$
 $4.009.571 \text{ N} > 2717691,916 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
4. $\phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f'_c} * b_w * d)$
 $4.009.571 \text{ N} < 6355475,75 \text{ N}$ (memenuhi)

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = 2521439,355 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 5 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek penampang balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3}\right)$$

$$0,58 < 4,42 \quad (\text{penampang cukup})$$

Tulangan torsi perlu:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y}$$

$$= 0,39 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{2521439,355}{400 * 1498} = 4,2 \text{ mm}^2$$

A_v pada tulangan sengkang 5 kaki D16 = 1005,3 mm²

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 0,39 + (2 \times 4,2) = 8,81 \text{ mm}^2$$

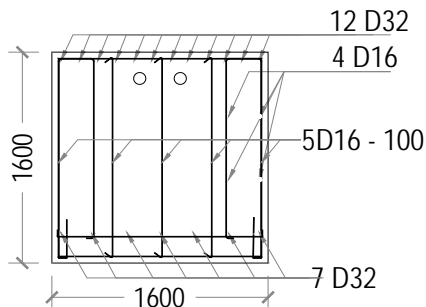
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{1005,3}{8,81} = 114,04 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 100 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1498 / 4 = 374,5 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \text{ } \emptyset \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 16 = 384 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1498 / 2 = 749 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 5D16-100



Gambar 4.15 Potongan Penampang Pier Head

4.4. Perencanaan Struktur Kolom Monorel

Pada perencanaan kolom monorel, kolom menggunakan Spun Pile diameter 1000 mm (tipe-C) dengan isian beton bertulang untuk menambah kapasitas aksial dan momen kolom. Penggunaan kolom menggunakan spun pile bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat dalam pelaksanaan.

Spesifikasi tiang spun pile berdasarkan brosur :

- o P bahan = 550,28 ton
- o M Crack = 125 ton.m
- o M Ultimate = 256,44 ton.m

Reaksi hasil output SAP akibat beban mati dan beban hidup :

- o P max = -526,169 ton < P kapasitas bahan (OK)
- o M Ultimate = 515,18 ton.m
- o M yang dibutuhkan = M yg terjadi – M bahan

$$= 515,18 - 256,44 = 258,74 \text{ t.m}$$

Untuk itu perlu ada nya penambahan tulangan sebagai isian kolom spun pile untuk menahan kelebihan momen yang terjadi , dengan spesifikasi isian beton sebagai berikut :

- o Mutu beton (f_c') = 50 Mpa
- o Mutu baja tul (f_y) = 400 Mpa
- o Tinggi Kolom = 7,7 meter
- o Diameter Spun Pile = 1000 mm
- o Diameter isian = 720 mm
- o Decking isian = 30 mm
- o Tulangan Lentur = D32
- o Tulangan Geser = D13

4.4.1 Perencanaan Tulangan Lentur Kolom

Momen yang terjadi : 258,74 t.m = 2.587.400.000 Nmm

$$M_n = 3234250000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = 10,28$$

$$m = 9,41$$

$$\rho_b = 0,0442$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,033$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0299$$

$$A_s = 12179,33 \text{ mm}^2$$

Jumlah Kebutuhan Tulangan Lentur :

Tulangan lentur pasang:

$$A_{s_{\text{perlu tarik}}} = 12179,33 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{20D32} \text{ (} A_{s_{\text{pasang}}} = 16084,95 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$S_{\min} = \frac{(\pi x D) - (n * \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{(\pi x 720 - 2 x 30) - (20 * 32)}{20 - 1}$$

$$= 75,44 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kemampuan penampang:

$$a = \frac{A_{s_{\text{pasang}}} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{16084,95 * 400}{0,85 * 50 * 720} = 210,26 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 16084,95 * 400 * \left(661 - \frac{210,26}{2} \right)$$

$$= 3.039.986.521 \text{ Nmm} > 2.587.400.000 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PERENCANAAN BANGUNAN SWITCHPOINT 3 IN 1

5.1. Definisi

Switchpoint merupakan suatu bangunan struktur yang memfasilitasi kereta monorel untuk berpindah jalur dari satu jalur monorel ke tiga jalur monorel. Struktur switchpoint ini direncanakan menggunakan struktur beton bertulang yang terdiri dari :

- Pelat Lantai
- Balok
- Pier Head
- Pilar
- Pondasi

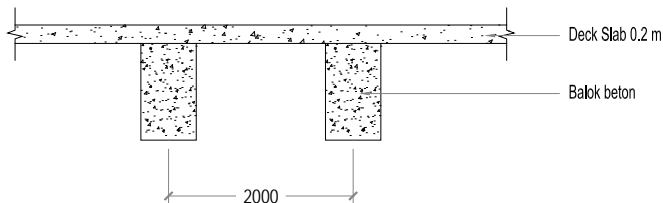
5.2. Perencanaan Pelat Lantai Switchpoint 3 in 1

Menurut SNI T-12-2004 ps. 5.5.2 tentang tebal minimum pelat lantai kendaraan, tebal pelat lantai kendaraan harus memenuhi persyaratan berikut :

$$\begin{aligned}d &\geq 200 \text{ mm} \\d &\geq 100 + 0,04 \cdot (b) \\&\geq 100 + 0,04 \cdot 2000 \\&\geq 180 \text{ mm}\end{aligned}$$

Direncanakan tebal pelat lantai switchpoint 200 mm dimana :

$$\begin{aligned}d &= \text{Tebal Lantai} \\b &= \text{Jarak antar balok tumpuan}\end{aligned}$$



Gambar 5.1. Pelat Lantai Switch 3 in 1

5.3. Pembebanan Lantai Switch

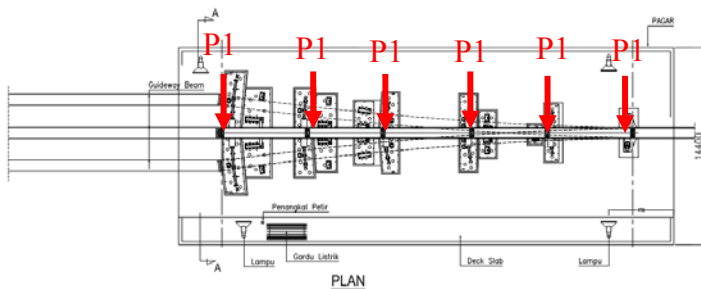
Pembebanan pada lantai Switch meliputi Beban Mati (dari plat itu sendiri), Beban Mati Tambahan (Track beam dan pelat baja landasan), Beban Hidup Track Monorel , Beban Angin dan Beban Gempa.

5.3.1 Beban Mati Tambahan

- Track beam

Track beam adalah balok yang menyerupai track monorel yang letak nya di area Switchpoint. Fungsinya adalah untuk memindahkan jalur kereta. Pada Switchpoint 3 in 1 ini terdapat 5 track beam yang masing-masing memiliki panjang 6 m. Dimensi dari Track Beam 0,8 x 1,8 m.

$$\begin{aligned}\text{Berat Track beam} &= (\text{Luas}_{\text{penampang}} \times \text{panjang} \times \text{BJ beton}) \\ &= (1,3894 \times 6 \times 2,5) \\ &= 20,841 \text{ Ton (P1)}\end{aligned}$$

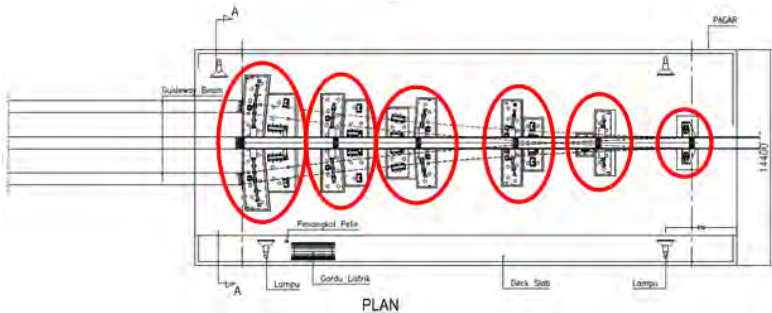


Gambar 5.2. Beban Track Beam

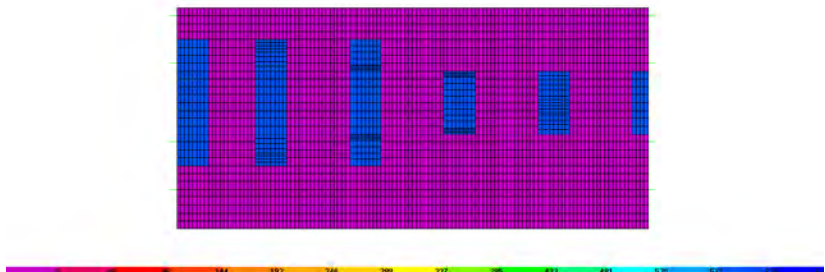
Beban P1 ini nanti nya akan ditambah dengan beban kereta yang melintas di atas nya sehingga menjadi beban **P buggie** yang bisa berpindah-pindah sesuai jalur. Jarak perpindahan track pada ujung sebesar 2,4 m.

- Pelat Baja Landasan

Beban mati pelat tumpuan Guideway Beam merata sesuai lokasi pelat tumpuan sebesar 625 kg/m^2 .



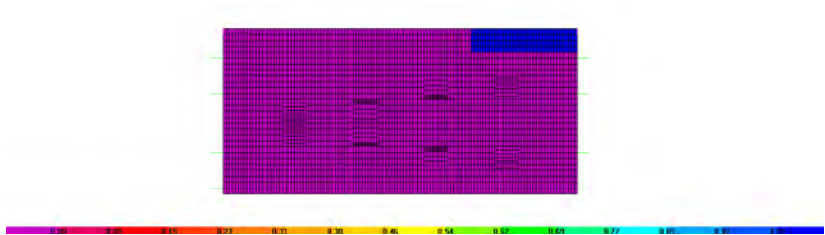
Gambar 5.3. Lokasi Pelat Tumpuan Guideway Beam



Gambar 5.4. Input Beban Pelat Tumpuan pada Permodelan

- Beban ME (Mechanical Electrical)

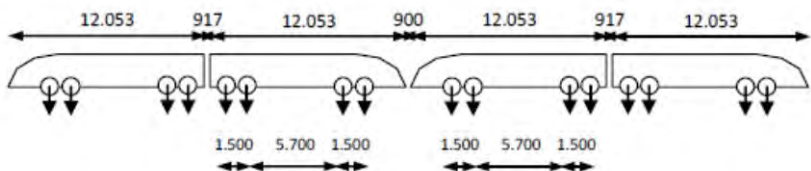
Beban mati mesin diasumsikan sebesar 1 Ton/m^2 terletak di bagian ujung ujung bangunan switch.



Gambar 5.5. Input Beban ME pada Permodelan

5.3.2 Beban Hidup Kereta

Formasi roda kereta yang akan lewat di atas Track Beam adalah sebagai berikut :



Gambar 5.6. Formasi Roda Kereta

- P aksial = 8 ton

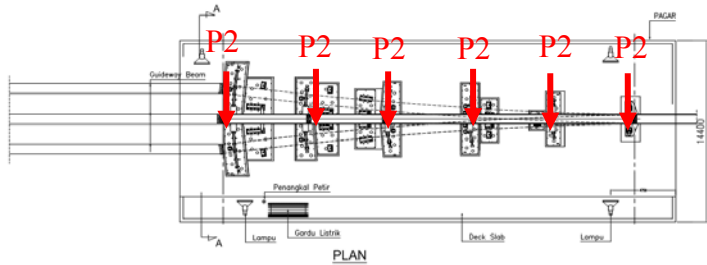
$$20$$

- Faktor kejut (i) = $\frac{50}{50 + 20} = 0,285 \approx 0,3$
- P aksial kereta = 8 ton + (8 x 0,3) = 10,4 ton
- Panjang track beam = 6 meter x 5 = 30 meter

“Diasumsikan beban gerbong kereta yang dapat masuk ke dalam area bangunan switch hanya 3 gerbong, selebihnya beban kereta sudah tidak masuk bangunan switch.”

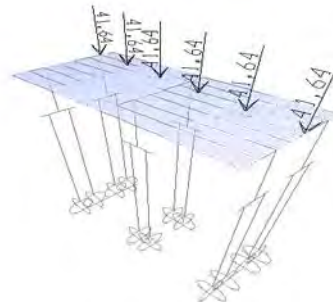
$$P_2 = \frac{12 \times 10,4 \text{ ton}}{6} = 20,8 \text{ ton}$$

(Beban hidup kereta yang masuk pada bangunan switch)



Gambar 5.7. Beban Hidup Track Beam

$$\begin{aligned} \text{Sehingga nilai } P_{\text{buggie}} &= P_1 + P_2 = 20,841 + 20,8 \\ &= 41,64 \text{ ton} \end{aligned}$$



Gambar 5.8. Beban P_{buggie} pada permodelan SAP

Adapun kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut :

- $DL + \gamma_{EQ} \text{Live (P Buggie)}$
- $DL + \gamma_{EQ} \text{Live (P Buggie)} + EQ_x + 0,3EQ_y$
- $DL + \gamma_{EQ} \text{Live (P Buggie)} + 0,3EQ_x + EQ_y$

Dimana : γ_{EQ} = faktor beban hidup kondisi gempa
 = 0,3 (Jembatan Penting)

5.4. Penulangan Pelat Lantai Swithpoint 3 in 1

Data perencanaan untuk penulangan pelat lantai antara lain :

$$\begin{aligned} f'_c &= 50 \text{ MPa} \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \\ t &= 200 \text{ mm} \\ \phi \text{ lentur} &= 22 \text{ mm (arah x)} \\ &22 \text{ mm (arah y)} \\ \text{Decking} &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= t - \text{decking} - \frac{\phi \text{ tul. lentur } x}{2} \\ &= 200 - 40 - \frac{22}{2} = 149 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t - \text{decking} - \phi \text{ tul. lentur } x - \frac{\phi \text{ tul. lentur } y}{2} \\ &= 200 - 40 - 22 - \frac{22}{2} = 127 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimana :

- dx = jarak antara serat tekan terluar hingga pusat tulangan tarik untuk tulangan arah melintang.
dy = jarak antara serat tekan terluar hingga pusat tulangan tarik untuk tulangan arah memanjang.

Tabel 5.1. Momen yang terjadi pada SAP

Momen max yang terjadi pada SAP		
Kombinasi	Mx T.m	My T.m
COMB1U	13,67	11,56

5.4.1. Perhitungan Tulangan Arah Melintang

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50} = 9,41$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0.0035 \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 10.4.3})$$

menurut SNI-T-12-2004 nilai β_1 untuk beton dengan f'_c lebih dari 30 MPa adalah :

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30) \\ &= 0.85 - 0.008 \times (50 - 30) \\ &= 0.69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0.85 \times 50 \times 0.69}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3}) \\ &= 0,75 \times 0,044 \\ &= 0,033 \end{aligned}$$

$$M_u = 13,67 \text{ ton.m} = 13,67 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{13,67 \times 10^7}{0.8}$$

$$= 17,09 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{17,09 \times 10^7}{1000 \times 149^2}$$

$$= 7,696$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 7,696}{400}} \right)$$

$$= 0.0214$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0214 \times 1000 \times 149$$

$$= 3188 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D22-100 (As pasang = 3801 mm²)

5.4.2. Perhitungan Tulangan Arah Memanjang

$$M_u = 11,56 \text{ ton.m} = 11,56 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{11,56 \times 10^7}{0.8}$$

$$= 14,45 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

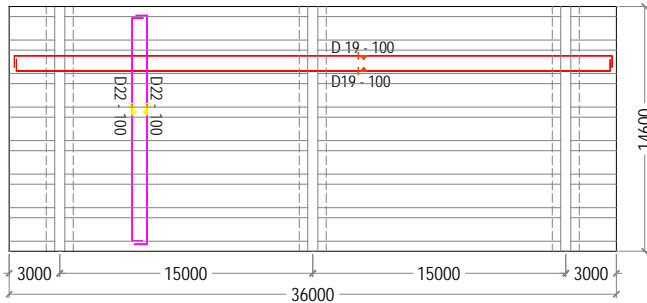
$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{17,09 \times 10^7}{1000 \times 149^2} = 6,5087$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 6,5087}{400}} \right) \\ &= 0.01776\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, pakai ρ

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,01776 \times 1000 \times 127 \\ &= 2255,52 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan D19-100 (As pasang = 2835,3 mm²)



Gambar 5.9. Tulangan Pelat Lantai Switch 3 in 1

5.5. Perencanaan Balok Switchpoint 3 in 1

Data perencanaan yang akan digunakan untuk merencanakan balok switch 3 in 1 adalah :

- Bentang balok = 15 m
- Panjang Balok = 14,4 m
- Mutu Beton = K-600 ($f'_c = 50$ Mpa)
- Mutu Baja = 400 Mpa dan 240 Mpa
- Jarak antar balok = 2 m

5.5.1. Preliminary Desain

Pada SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.2 tabel 8, terdapat persyaratan penentuan tinggi balok yang apabila terpenuhi maka tidak perlu melakukan kontrol lendutan pada balok.

Pada balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana sehingga menggunakan rumus:

$$h = \frac{L}{12} = \frac{144}{12} = 120 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1h}{2} = \frac{1 \times 120}{2} = 60 \text{ cm}$$

dimana :

h = Tinggi balok (cm)

L = Bentang balok (m)

b = Lebar balok (cm)

Sehingga didapat dimensi balok Switch sebesar 60 x 120 cm.

5.5.2. Perhitungan Tulangan Balok 60 x 120 cm

Dari analisa program SAP2000 didapat nilai gaya dalam dari balok tersebut dengan hasil sebagai berikut :

- Mu tumpuan kanan : 806791049 Nmm
- Mu tumpuan kiri : 634091789 Nmm
- Mu lapangan : 1084427510 Nmm
- Vu tumpuan : 859612,97 N
- Vu lapangan : 448255,91 N
- Tu : 202964077 Nmm

Data Perencanaan Balok :

• b	=	600	mm
• h	=	1200	mm
• Decking	=	70	mm
• Tulangan Pokok	=	25	mm
• Senggang	=	13	mm
• Mutu Beton	=	K-600 ($f'_c = 50$ Mpa)	
• Mutu Baja	=	400 Mpa dan 240 Mpa	

$$d = 1200 - 70 - 13 - (1/2 \times 25) = 1104,5 \text{ mm}$$

$$d' = 1200 - 1104,5 = 95,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30) \\ &= 0.85 - 0.008 \times (50 - 30) \\ &= 0.69\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0.85 \times 50 \times 0.69}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b && (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3}) \\ &= 0,75 \times 0,044 \\ &= 0,033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50} \\ &= 9,41\end{aligned}$$

❖ **Perhitungan Tumpuan**

Mu tumpuan kanan = 806791049 Nmm

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0.8} = \frac{806791049}{0.8} \\ &= 1008488811 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} x d = \frac{600}{(600 + 400)} x 1104,5 \\ &= 662,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b = 0,75 \times 662,7 = 497,025 \text{ mm}$$

$$X_{\min} = h - d = 1200 - 1104,5 = 95,5 \text{ mm}$$

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} = \frac{0,85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 50 \times 600 \times 0,69 \times 150}{400} \\ &= 6598,125 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 6598,125 \times 400 \times \left(1104,5 - \frac{0,69 \times 150}{2} \right) \\ &= 2778470438 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 1008488811 - 2778470438 \\ &= -1769981626 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(Tidak Perlu Tulangan Tekan = Pakai Tulangan tunggal)

Perencanaan Tulangan Tunggal :

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1008488811}{600 \times 1104,5^2}$$

$$= 1,37$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,37}{400}} \right)$$

$$= 0,0036$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 600 \times 1104,5$$

$$= 2385,72 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 0,5 \times 2385,72$$

$$= 1192,86 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 202964077 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{202964077}{0.75} = 270618769,3 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$Ph = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50} \left(\frac{720000^2}{3600} \right)}{12} \\ &= 63639610,31 \text{ Nmm} \\ &= 63639610,31 \text{ Nmm} < T_u = 202964077 \text{ Nmm} \\ &\quad (\text{Torsi diperhitungkan}) \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yv} * \cot \theta} \\ &= \frac{270618769,3}{2 * 397807,65 * 240 * \cot 45} = 1,42 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ &= 1,42 \times 2988 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 2540,82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{2540,82}{4} = 635,3 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya tulangan torsi disebar merata pada keempat sisi balok. Khusus untuk tulangan lentur atas dan bawah luasannya ditambahkan dengan tulangan torsi

$$\begin{aligned} \text{Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 2385,72 + 635,3 = 3021,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Lentur Bawah} = A_s' + \frac{A_l}{4}$$

$$= 1192,86 + 635,3 = 1828,16 \text{ mm}^2$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{A_t / 4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{635,3}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 3,16 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4D 16 ($A_{s_{pasang}} = 804,64 \text{ mm}^2$)

Jumlah Tulangan tumpuan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s_{\text{perlu tarik}}} = 3021,02 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **8D25** ($A_{s_{pasang}} = 3.926,99 \text{ mm}^2$)

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s'_{\text{perlu tekan}}} = 1828,16 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **4D25** ($A_{s_{pasang}} = 1.963,50 \text{ mm}^2$)

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Øsengkan}) - (n \times \text{Øtul. utama})}{n - 1} \\ &= \frac{600 - (2 \times 70) - (2 \times 13) - (6 \times 25)}{6 - 1} \\ &= 56,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{3926,99 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 600} = 615,99 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 3.926,99 \cdot 400 \cdot \left(1076,1 - \frac{615,99}{2} \right)$$

$$= 1.206.606.947 \text{ Nmm} > 806.791.049 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Menurut SNI 2847 ps 23.10.4.1 bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$A_s' = 1.963,50 \text{ mm}^2 \geq 1/3 A_{s \text{ aktual}} = 1/3 \times 3.926,99 \\ = 1308,99 \text{ mm}^2$$

Perhitungan Tulangan Geser

- Momen lapangan positif

$$A_s = 3.926,99 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{3926,99 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 600} = 615,99 \text{ mm}$$

$$M_n^+ = A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ = 3.926,99 \cdot 400 \cdot \left(1076,1 - \frac{615,99}{2} \right) \\ = 1.206.606.947 \text{ Nmm}$$

- Momen lapangan negatif

$$A_s = 1.963,50 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1.963,50 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 600} = 30,8 \text{ mm}$$

$$M_n^- = A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ = 1.963,50 \cdot 400 \cdot \left(1076,1 - \frac{30,8}{2} \right) \\ = 833.073.780 \text{ Nmm}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_n^- + M_n^+}{l_n} + V_u \\
 &= \frac{833.073.780 + 1.206.606.947}{14400} + 859612,97 \\
 &= 1.001.257,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{50} * 600 * 1076,1 \\
 &= 760917,61 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{3} * 600 * 1076,1 = 215220 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $1.001.257,5 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 760917,61$
 $1.001.257,5 \text{ N} > 285344,11 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $285344,11 \text{ N} < 1.001.257,5 \text{ N} < 0,75 \times 760917,61$
 $1.001.257,5 \text{ N} > 570688,21 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$
 $570688,21 \text{ N} < V_u \leq 0,75 (760917,61 + 215220)$
 $1.001.257,5 \text{ N} > 732103,21 \text{ N}$ (tidak memenuhi)

$$4. \quad \phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d)$$

$$732103,21 < V_u < 0,75(760917,61 + \frac{1}{3} \sqrt{50} * 600 * 1076,1)$$

$$1.001.257,5 \text{ N} < 1.712.064,62 \text{ N (memenuhi)}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{1.001.257,5 \text{ N}}{0,75} - 760917,61 \text{ N}$$

$$= 574092,39 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 3 kaki diameter 13 mm.

$$A_v = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 398.2 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur Transversal)

$$T_u = 202964077 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{202964077}{0.75} = 270618769,3 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{720000^2}{3600} \right) \\
 &= 63639610,31 \text{ Nmm} \\
 &= 63639610,31 \text{ Nmm} < T_u = 202964077 \text{ Nmm} \\
 &\quad (\text{Torsi diperhitungkan})
 \end{aligned}$$

Cek penampang balok:

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d} \right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2} \right)^2} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2 \sqrt{f'c}}{3} \right) \\
 \sqrt{\left(\frac{1.001.257,5}{600 * 1076,1} \right)^2 + \left(\frac{202964077 * 2988}{1,7 * 468009^2} \right)^2} &\leq \phi \left(\frac{760917,61}{600 * 1076,1} + \frac{2 \sqrt{50}}{3} \right) \\
 2,24 &< 4,42 \\
 &(\text{penampang cukup})
 \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y} \\
 &= \frac{202964077}{2 * 0,75 * \cot 45 * 600 * 1076,1 * 400} = 0,52 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{574092,39}{400 * 1076,1} = 1,33 \text{ mm}^2$$

Av pada tulangan sengkang 3 kaki D13= 398,2 mm²

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 0,52 + (2 \times 1,33) = 3,18 \text{ mm}^2$$

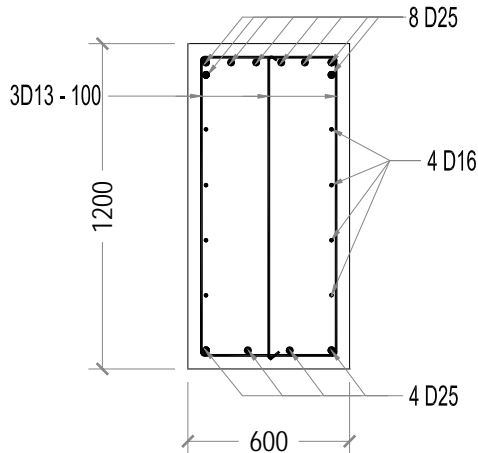
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{398,2}{3,18} = 125,2 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 100 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1076,1 / 4 = 269,025 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \varnothing \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 13 = 312 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1076,1 / 2 = 538,05 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 3D13-100



Gambar 5.10. Tulangan Tumpuan Balok 60/120 cm

❖ **Perhitungan Lapangan**

$$\mu_{\text{Lapangan}} = 1084427510 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0.8} = \frac{1084427510}{0.8} \\ &= 1355534388 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} x d = \frac{600}{(600 + 400)} x 1104,5 \\ &= 662,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$X_{\text{max}} = 0,75 \times X_b = 0,75 \times 662,7 = 497,025 \text{ mm}$$

$$X_{\text{min}} = h - d = 1200 - 1104,5 = 95,5 \text{ mm}$$

$$X_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} = \frac{0,85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 50 \times 600 \times 0,69 \times 120}{400} \\ &= 6502,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 6502,5 \times 400 \times \left(1104,5 - \frac{0,69 \times 120}{2} \right) \\ &= 2740153500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 1355534388 - 2740153500 \\ &= -1384619113 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(Tidak Perlu Tulangan Tekan = Pakai Tulangan tunggal)

Perencanaan Tulangan Tunggal :

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1355534388}{600 \times 1104,5^2}$$

$$= 1,85$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,85}{400}} \right)$$

$$= 0,0047$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0047 \times 600 \times 1104,5$$

$$= 3138,14 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times 3138,14$$

$$= 1569,07 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 202964077 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{202964077}{0.75} = 270618769,3 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{720000^2}{3600} \right) \\ &= 63639610,31 \text{ Nmm} \\ &= 63639610,31 \text{ Nmm} < T_u = 202964077 \text{ Nmm} \\ &\quad (\text{Torsi diperhitungkan}) \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{270618769,3}{2 \times 397807,65 \times 240 \times \cot 45} = 1,42 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ &= 1,42 \times 2988 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 2540,82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{2540,82}{4} = 635,3 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya tulangan torsi disebar merata pada keempat sisi balok. Khusus untuk tulangan lentur atas dan bawah luasannya ditambahkan dengan tulangan torsi

$$\begin{aligned} \text{Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 3138,14 + 635,3 = 3773,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lentur Bawah} &= A_s' + \frac{Al}{4} \\ &= 1569,07 + 635,3 = 2204,37 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{Al/4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{635,3}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 3,16 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4D 16 ($A_{s\text{pasang}} = 804,64 \text{ mm}^2$)

Jumlah Tulangan lapangan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s\text{perlu tarik}} = 3773,44 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **9D25** ($A_{s\text{pasang}} = 4417,86 \text{ mm}^2$)

- Tulangan tekan pasang:

$$A_s'_{\text{perlu tekan}} = 2204,37 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **6D25** ($A_{s\text{pasang}} = 2945,24 \text{ mm}^2$)

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\ &= \frac{600 - (2 \times 70) - (2 \times 13) - (7 \times 25)}{7 - 1} \\ &= 43,16 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

- Kemampuan penampang:

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \cdot \text{pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{4417,86 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 600} \\ &= 69,29 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$d_{\text{aktual}} = d - \text{cover} - \varnothing \text{sengkang} - \varnothing \text{tul} - \left(\frac{2}{7} * \text{jarak.tul} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= 1200 - 70 - 13 - 25 - \left(\frac{2}{7} * 43,16 \right) \\
&= 1082,4 \text{ mm} \\
Mn &= A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\
&= 4417,86 * 400 * \left(1082,4 - \frac{69,29}{2} \right) \\
&= 1.851.533.962 \text{ Nmm} > 1.084.427.510 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})
\end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 ps 23.10.4.1 bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\begin{aligned}
A_s' &= 2945,24 \text{ mm}^2 \geq 1/3 A_{s \text{ aktual}} = 1/3 \times 4417,86 \\
&= 1472,62 \text{ mm}^2 \quad (\text{oke})
\end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Geser

- Momen lapangan positif
 $A_s = 4417,86 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s \cdot \text{pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{4417,86 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 600} = 69,29 \text{ mm}$$

$$Mn^+ = A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 4417,86 * 400 * \left(1082,4 - \frac{69,29}{2} \right)$$

$$= 1.851.533.962 \text{ Nmm}$$
- Momen lapangan negatif
 $A_s = 2945,24 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_{s,pasang} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{2945,24 * 400}{0,85 * 50 * 600} = 46,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n^- &= A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2945,24 * 400 * \left(1082,4 - \frac{46,2}{2} \right) \\ &= 1.247.957.093 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_n^- + M_n^+}{l_n} + V_u \\ &= \frac{1.851.533.962 + 1.247.957.093}{14400} + 448255,91 \\ &= 663498,34 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} * b_w * d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{50} * 600 * 1082,4 \\ &= 765372,38 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} * b_w * d \\ &= \frac{1}{3} * 600 * 1076,1 = 216480 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $663498,34 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 765372,38$
 $663498,34 \text{ N} > 287014,64 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $287014,64 \text{ N} < 663498,34 \text{ N} < 0,75 \times 765372,38$
 $663498,34 \text{ N} > 574029,3 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{smin})$
 $574029,3 \text{ N} < V_u \leq 0,75 (765372,38 + 216480)$
 $663498,34 \text{ N} < 736389,3 \text{ N}$ (memenuhi)

S direncanakan 150 mm

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w * S}{3 * f_y} = \frac{600 * 150}{3 * 400} = 75 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur Transversal)

$$T_u = 202964077 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{202964077}{0.75} = 270618769,3 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{Øsengkang}) \\ &= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{Øsengkang}) \\ &= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{720000^2}{3600} \right) \\
 &= 63639610,31 \text{ Nmm} \\
 &= 63639610,31 \text{ Nmm} < T_u = 202964077 \text{ Nmm} \\
 &\quad (\text{Torsi diperhitungkan})
 \end{aligned}$$

Cek penampang balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d} \right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2 \sqrt{f'_c}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{663498,34}{600 * 1082,4} \right)^2 + \left(\frac{202964077 * 2988}{1,7 * 468009^2} \right)^2} \leq$$

$$0,75 \left(\frac{765372,38}{600 * 1082,4} + \frac{2 \sqrt{50}}{3} \right)$$

$$1,92 < 4,41 \dots\dots\dots (\text{penampang cukup})$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y} \\
 &= \frac{202964077}{2 * 0,75 * \cot 45 * 600 * 1082,4 * 400} = 0,52 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{216480}{400 * 1082,4} = 0,5 \text{ mm}^2$$

A_v pada tulangan sengkang 2 kaki D13= 265,46 mm²

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 0,52 + (2 \times 0,5) = 1,52 \text{ mm}^2$$

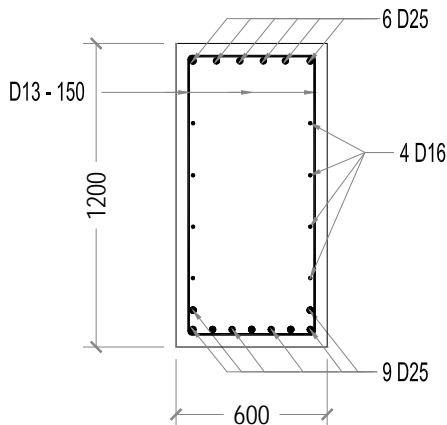
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{265,46}{1,52} = 174,6 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 150 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1082,4 / 4 = 270,6 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \text{ } \emptyset \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 13 = 312 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1082,4 / 2 = 541,2 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 2D13-150

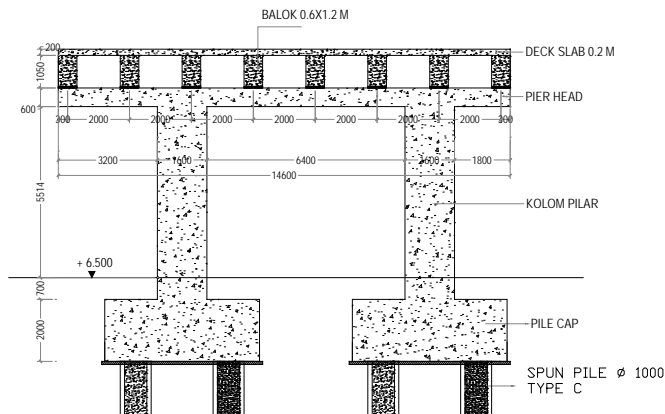


Gambar 5.11. Tulangan Lapangan Balok 60/120 cm

5.6. Perencanaan Pilar

Pilar switchpoint terdiri dari beberapa elemen struktur penyusun yaitu Pondasi, Pile Cap (Poer), Kolom Pilar, Longitudinal stopper, Lateral stopper dan Pier Head. Penulangan Pilar direncanakan dari analisis elemen-elemen pilar jembatan. Analisis pembebanan untuk pilar terdiri atas beban dari bangunan atas baik beban hidup maupun beban mati, beban rem dari kereta beban angin, maupun beban gempa dinamis.

Struktur balok pier head akan ditumpu oleh dua kolom, tidak seperti pada perencanaan awal dari owner yang hanya ditumpu oleh satu kolom. Sistem Balok pier head yang ditumpu oleh dua kolom akan lebih stabil dibanding dengan satu kolom.

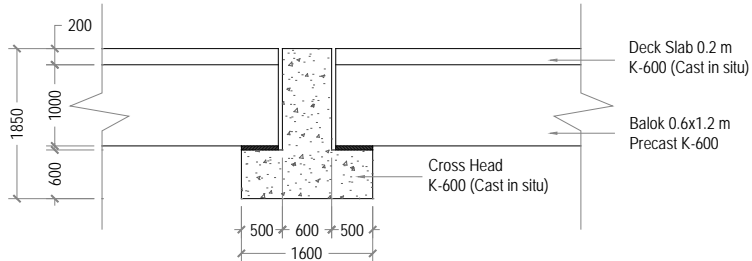


Gambar 5.12. Potongan Pilar Switch

5.6.1. Perencanaan Balok Pier head

Data perencanaan yang akan digunakan untuk merencanakan balok Pier Head switch 3 in 1 adalah :

- Bentang kantilever = 4 m
- Mutu Beton = K-600 ($f'_c = 50 \text{ Mpa}$)
- Mutu Baja tulangan = 400 Mpa dan 240 Mpa
- Jarak antar kolom = 8 m
- Jarak antar portal = 15 m



Gambar 5.13. Potongan Melintang Pier Head

5.6.1.1 Pembebanan pada Pier Head

Beban yang masuk pada balok pier head adalah reaksi dari struktur yang menumpu di atas nya yaitu reaksi dari balok girder memanjang , plat lantai serta beban kereta yang melintas di atas nya. Untuk perhitungan gaya-gaya dalam pada balok pier head di bantu menggunakan program SAP 2000 versi 14 .

- ❖ Kombinasi Pembebanan kerja :
 - $DL + Live$ (P Buggie_{1,2,3})
 - $DL + \gamma_{EQ} Live$ (P Buggie_{1,2,3}) + $EQ_x + 0,3EQ_y$
 - $DL + \gamma_{EQ} Live$ (P Buggie_{1,2,3}) + $0,3EQ_x + EQ_y$
- ❖ Kombinasi Pembebanan Ultimate :
 - $1,3DL + 1,8Live$ (P Buggie_{1,2,3})
 - $1,3DL + \gamma_{EQ} 1,8Live$ (P Buggie_{1,2,3}) + $EQ_x + 0,3EQ_y$
 - $1,3DL + \gamma_{EQ} 1,8Live$ (P Buggie_{1,2,3}) + $0,3EQ_x + EQ_y$

Dimana :

γ_{EQ} = faktor beban hidup kondisi gempa
= 0,3 (Jembatan Penting)

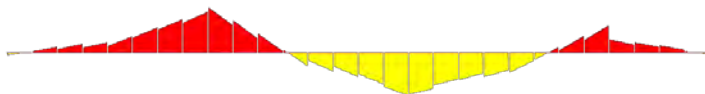
DL = Beban mati / berat sendiri bangunan

Live= Beban Hidup (beban pekerja)

P Bugie_{1,2,3} = Beban kereta yang berjalan pada jalur 1,2,3

5.6.1.2 Perhitungan tulangan Pier Head

Dengan bantuan program bantu SAP 2000 didapat gaya-gaya dalam pada balok pier head. Berikut gambar bidang momen akibat beban yang terjadi pada balok pier head :



Gambar 5.14. Bidang Momen Balok Pier Head

- Mu tumpuan kanan : -1813263413 Nmm
- Mu tumpuan kiri : -3028938860 Nmm
- Mu lapangan : 2813302668 Nmm
- Vu tumpuan : -1.842.598 N
- Vu lapangan : -1.145.386,72 N
- Tu Tumpuan : 1.614.059.304 Nmm
- Tu Lapangan : 750.059.304 Nmm

Data Perencanaan Balok :

- b = 800 mm
- h = 1850 mm
- Decking = 80 mm
- Tulangan Pokok = 32 mm
- Sengkang = 16 mm
- Mutu Beton = K-600 ($f'_c = 50$ Mpa)
- Mutu Baja = 400 Mpa dan 240 Mpa

$$d = 1850 - 80 - 16 - (1/2 \times 32) = 1738 \text{ mm}$$

$$d' = 1850 - 1738 = 112 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.85 - 0.008 \times (50 - 30) \\
 &= 0.69 \\
 \rho_b &= \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\
 \rho_b &= \frac{0.85 \times 50 \times 0.69}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\
 &= 0,044
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3}) \\
 &= 0,75 \times 0,044 \\
 &= 0,033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \\
 &= 0.0035 \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50} \\
 &= 9,41
 \end{aligned}$$

❖ **Perencanaan Tulangan Tumpuan :**

Mu tumpuan kiri : 3028938860 Nmm

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{0.8} = \frac{3028938860}{0.8} \\
 &= 3786173575 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{3786173575}{800 \times 1738^2} \\
 &= 1,57
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,57}{400}} \right) \\ &= 0,00399\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00399 \times 800 \times 1738 \\ &= 5550,43 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s' &= 0,5 \times 5550,43 \\ &= 2775,22 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 1.614.059.304 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{1.614.059.304}{0.75} = 2.152.079.072 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 800 \times 1850 = 1480000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (800 + 1850) = 5300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}X_1 &= b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ &= 800 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 624 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_1 &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ &= 1850 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 1674 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 624 \times 1674 = 1044576 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 1044576 = 887889,6 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (624 + 1674) = 4596 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\
 &= \frac{0,75 \sqrt{50} \left(\frac{1480000^2}{5300} \right)}{12} \\
 &= 182.647.016 \text{ Nmm} \\
 &= 182.647.016 \text{ Nmm} < T_u = 2004059304 \text{ Nmm} \\
 &\quad (\text{Torsi diperhitungkan})
 \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yv} * \cot \theta} \\
 &= \frac{2.152.079.072}{2 * 887889,6 * 240 * \cot 45} = 5,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\
 &= 5,05 \times 4596 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 13924,81 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{13924,81}{4} = 3481,2 \text{ mm}^2$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{A_l / 4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{3481,2}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 9,15 \approx 10 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan torsi 10D 22 ($A_{s_{pasang}} = 3801,32 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 \text{Tul Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 5550,43 + 3481,2 = 9031,64 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tul Lentur Bawah} &= A_s' + \frac{A_l}{4} \\
 &= 2775,2 + 3481,2 = 6256,42 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan tumpuan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s_{\text{perlu tarik}}} = 9031,64 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{12D32} \quad (A_{s_{\text{pasang}}} = 9650,97 \text{ mm}^2)$$

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s'_{\text{perlu tekan}}} = 7097,57 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{8D32} \quad (A_{s_{\text{pasang}}} = 6433,98 \text{ mm}^2)$$

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{800 - (2 \times 80) - (2 \times 16) - (8 \times 32)}{8 - 1} \\
 &= 50,28 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tekan memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{800 - (2 \times 80) - (2 \times 16) - (6 \times 32)}{6 - 1} \\
 &= 83,2 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tarik memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang :

$$a = \frac{As.pasang * fy}{0,85 * f'c * b} = \frac{9650,97 * 400}{0,85 * 50 * 800} = 113,5 \text{ mm}$$

$$Mn = As * fy * \left(d_{aktual} - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} d_{aktual} &= d - \text{cover} - \emptyset \text{sengkang} - \emptyset \text{tul} - \left(\frac{1}{2} * \text{jarak.tul} \right) \\ &= 1850 - 80 - 16 - 32 - \left(\frac{1}{2} * 83,2 \right) \\ &= 1680,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= 9650,97 * 400 * \left(1680,4 - \frac{113,5}{2} \right) \\ &= 6.267.841.828 \text{ Nmm} > 3.028.938.860 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

❖ **Perhitungan Tulangan Geser**

$$Vu = 1.842.598 \text{ N}$$

- Momen lapangan positif

$$As = 9650,97 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As.pasang * fy}{0,85 * f'c * b} = \frac{9650,97 * 400}{0,85 * 50 * 800} = 113,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn^+ &= As * fy * \left(d_{aktual} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 9650,97 * 400 * \left(1680,4 - \frac{113,54}{2} \right) \\ &= 6.267.841.828 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen lapangan negatif

$$As = 6433,98 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{6433,98 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 800} = 75,69 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n^- &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 6433,98 \cdot 400 \cdot \left(1680,4 - \frac{75,69}{2} \right) \\ &= 4.227.262.538 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_n^- + M_n^+}{l_n} + V_u \\ &= \frac{4.227.262.538 + 6.267.841.828}{8000} + 1.842.598 \\ &= 3.154.486 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{50} \cdot 800 \cdot 1690 = 1584296,31 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 800 \cdot 1690 = 448106,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 3.168.593 \text{ N}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $3.154.486 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 1584296,31$
 $3.154.486 \text{ N} > 594111,11 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $594111,11 \text{ N} < 3.154.486 \text{ N} < 0,75 \times 594111,11$
 $3.154.486 \text{ N} > 1188222,235 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{smin})$
 $1188222,235 \text{ N} < V_u \leq 0,75(1584296,31 + 448106,67)$
 $3.154.486 \text{ N} > 1524302,235 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
4. $\phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f'_c} * b_w * d)$
 $1524302,235 < V_u < 0,75(1584296,31 + 3.168.593)$
 $3.154.486 \text{ N} < 3564666,71 \text{ N}$ (memenuhi)

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{3.154.486 \text{ N}}{0,75} - 1584296,31 \text{ N}$$

$$= 2621685,201 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 5 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek penampang balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{3.154.486}{800 * 1680,4}\right)^2 + \left(\frac{1.614.059.304 * 4596}{1,7 * 1044576^2}\right)^2} \leq \phi$$

$$\left(\frac{1584296,31}{800 * 1680,4} + \frac{2\sqrt{50}}{3} \right)$$

$$4,23 < 4,42 \text{ (penampang cukup)}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y}$$

$$= \frac{1.614.059.304}{2 * 0,75 * \cot 45 * 800 * 1680,4 * 400} = 2,01 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{2621685,201}{400 * 1680,4} = 3,9 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ pada tulangan sengkang 5 kaki D16} = 1005,31 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 2,01 + (2 \times 3,9) = 9,8 \text{ mm}^2$$

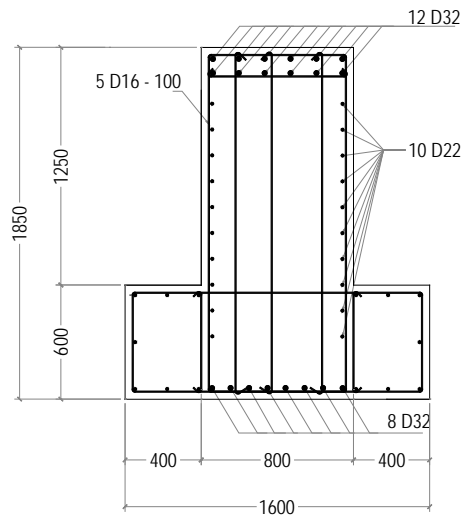
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{1005,31}{9,8} = 102,56 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 100 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1680,4 / 4 = 420,1 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \varnothing \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 16 = 384 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1680,4 / 2 = 840,2 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 5D16-100



Gambar 5.15. Tulangan Tumpuan balok Pier Head Switch

❖ **Perencanaan Tulangan Lapangan :**

Mu Lapangan : 2813302668 Nmm

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{2813302668}{0.8} = 3516628335 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{3516628335}{800 \times 1738^2} = 1,46$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,46}{400}} \right)$$

$$= 0,0037$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, pakai ρ

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0037 \times 800 \times 1738$$

$$= 5148,14 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times 5550,43$$

$$= 2574,07 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 750.059.304 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{750.059.304}{0.75} = 1.000.079.072 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 800 \times 1850 = 1480000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (800 + 1850) = 5300 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ = 800 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 624 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ = 1850 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 1674 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 624 \times 1674 = 1044576 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 1044576 = 887889,6 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (624 + 1674) = 4596 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{1480000^2}{5300} \right) \\ &= 182.647.016 \text{ Nmm} \\ &= 182.647.016 \text{ Nmm} < T_u = 750.059.304 \text{ Nmm} \\ &\quad (\text{Torsi diperhitungkan}) \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yv} * \cot \theta} \\ &= \frac{1.000.079.072}{2 * 887889,6 * 240 * \cot 45} = 2,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ &= 2,35 \times 4596 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 6470,91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{6470,91}{4} = 1617,73 \text{ mm}^2$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{A_l / 4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{1617,73}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 4,25 \approx 5 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan torsi 5D 22 ($A_{s_{pasang}} = 1900,7$)

$$\begin{aligned} \text{Tul Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 5148,14 + 1617,73 = 6765,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tul Lentur Bawah} &= A_s' + \frac{A_l}{4} \\ &= 2574,07 + 1617,73 = 4191,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lapangan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s_{\text{perlu tarik}}} = 6765,87 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{10D32} \text{ (} A_{s_{\text{pasang}}} = 8042,47 \text{ mm}^2 \text{)}$$

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s'_{\text{perlu tekan}}} = 4191,80 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{6D32} \text{ (} A_{s_{\text{pasang}}} = 4825,48 \text{ mm}^2 \text{)}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Øsengkang}) - (n \times \text{Øtul. utama})}{n - 1} \\ &= \frac{800 - (2 \times 80) - (2 \times 16) - (8 \times 32)}{8 - 1} \\ &= 50,28 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tekan memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{800 - (2 \times 80) - (2 \times 16) - (6 \times 32)}{6 - 1} \\
 &= 83,2 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tarik memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{8042,47 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 800} = 94,62 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$d_{\text{aktual}} = d - \text{cover} - \varnothing \text{sengkang} - \varnothing \text{tul} - \left(\frac{1}{2} \cdot \text{jarak.tul} \right)$$

$$= 1850 - 80 - 16 - 32 - \left(\frac{2}{8} \cdot 50,28 \right)$$

$$= 1709,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 8042,47 \cdot 400 \cdot \left(1709,4 - \frac{94,62}{2} \right) \\
 &= 5.346.932.583 \text{ Nmm} > 2.813.302.668 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 1.145.387 \text{ N}$$

- Momen lapangan positif

$$A_s = 8042,47 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{8042,47 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 800} = 94,62 \text{ mm}$$

$$M_n^+ = A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) = 5.346.932.583 \text{ Nmm}$$

- Momen lapangan negatif

$$A_s = 4825,48 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{4825,48 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 800} = 56,77 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n^- &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 4825,48 \cdot 400 \cdot \left(1709,4 - \frac{56,77}{2} \right) \\ &= 3.244.685.539 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_n^- + M_n^+}{l_n} + V_u \\ &= 2.219.339 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{50} \cdot 800 \cdot 1709,4 = 1611637,78 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 800 \cdot 1709,4 = 455840 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 3.223.276 \text{ N}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $2.219.339 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 1611637,78$
 $2.219.339 \text{ N} > 604364,17 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $604364,17 \text{ N} < 2.219.339 \text{ N} < 0,75 \times 1611637,78$
 $2.219.339 \text{ N} > 1208728,3 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{smin})$
 $1208728,3 \text{ N} < V_u \leq 0,75(1611637,78 + 455840)$
 $2.219.339 \text{ N} > 1550608,332 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
4. $\phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f'_c} * b_w * d)$
 $1550608,332 < V_u < 0,75(1611637,78 + 3.223.276)$
 $2.219.339 \text{ N} < 3626184,995 \text{ N}$ (memenuhi)

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{2.219.339 \text{ N}}{0,75} - 1611637,78 \text{ N}$$

$$= 1347480,871 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 5 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek penampang balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{2.219.339}{800 * 1709,4}\right)^2 + \left(\frac{750.059.304 * 4596}{1,7 * 1044576^2}\right)^2} \leq \phi$$

$$\left(\frac{1611637,78}{800 * 1709,4} + \frac{2\sqrt{50}}{3} \right)$$

2,03 < 4,41 (penampang cukup)

Tulangan torsi perlu:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y}$$

$$= 0,91 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{1347480,871}{400 * 1709,4} = 1,97 \text{ mm}^2$$

A_v pada tulangan sengkang 5 kaki D16 = 1005,31 mm²

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 0,91 + (2 \times 1,97) = 4,85 \text{ mm}^2$$

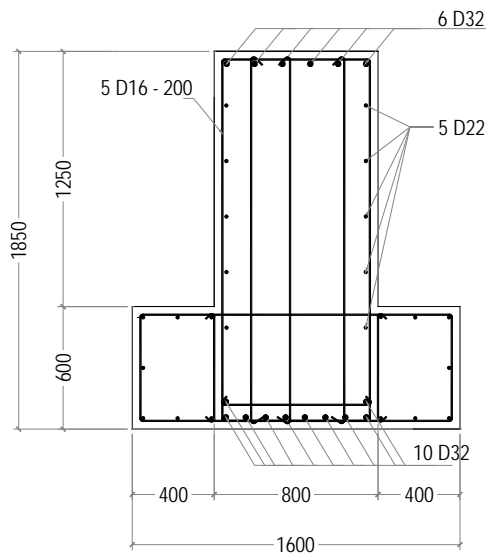
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{1005,31}{4,85} = 207,04 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 200 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1709,4 / 4 = 427,35 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \varnothing \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 16 = 384 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1709,4 / 2 = 854,7 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 5D16-200 mm

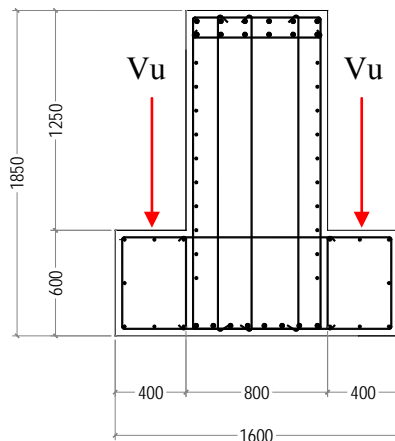


Gambar 5.16. Tulangan Lapangan balok Pier Head Switch

❖ Perencanaan Tulangan Konsol Balok Pier Head

Data Perencanaan :

- Panjang (l) = 400 mm
- Tinggi (h) = 600 mm
- Lebar (b) = 2000 mm
- d = 520 mm
- Diameter tul. Lentur = D19 mm
- Diameter tul. Geser = Ø13 mm
- Mutu Beton (f'_c) = 50 Mpa
- Mutu Baja (f_y) = 400 Mpa
- β_1 = 0,69
- ρ_b = 0,044
- $\rho_{\min} = 0,04 \times \frac{f'_c}{f_y} = 0,005$
- $\rho_{\max} = 0,033$
- $K_{rc} = 0,6$



Gambar 5.17. Penampang Balok

Tabel 5.2. Gaya – gaya yang Bekerja pada konsol :

Gaya Yang Bekerja (Ton)		1.3DL + 1.8LL (P Buggie 2)		
		Vu (Ton)	Lengan(m)	Mu(Tonm)
gaya yang masuk pada konsol lebar 40 cm	0,400	90,000	0,200	18
		90,000		18

Perhitungan Tulangan Lentur

Akibat momen sebesar = 18 ton.m

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{18}{0.8}$$

$$= 22,5 \text{ ton.m} = 22,5 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50}$$

$$= 9,41$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{22,5 \times 10^7}{2000 \times 520^2}$$

$$= 0,52$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= 0,0014 < \rho \text{ min} \dots \text{ dipakai } \rho \text{ min} = 0,005$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 5200 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang D19-100

$$A_s \text{ pasang} = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \right) \times \left(\frac{b}{\text{jarak}} \right) = 5667,7 \text{ mm}^2$$

Jadi dipasang tulangan lentur D19-100.

Perhitungan Tulangan Pembagi

Ast = 20% Tulangan Utama (mm ²)	Xperlu (mm)	As Pasang (mm ²)	Xpasang (mm)	Tulangan Pasang
1133,54	234,072	1326,650	200	D13-200

Dipasang Tulangan Pembagi Ø13-200Kontrol Geser :

$$V_{uc} = \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \times b_v \times d_0 \left(\frac{A_{st} \times f'_c}{b_v \times d_0} \right)^{1/3}$$

$$\beta_1 = 1,4 - (d_0/2000) \geq 1,1$$

$$= 1,14$$

$$\beta_2 = 1$$

$$\beta_3 = 1$$

$$V_{uc} = 1,14 \times 1 \times 1 \times 2000 \times 520 \left(\frac{5667,7 \times 50}{2000 \times 520} \right)^{1/3}$$

$$= 768633,6 \text{ N}$$

$$V_s = V_u - 0,6 V_c$$

$$= 900000 - 0,6 \times 768633,6 = 43874 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,6 \times \frac{1}{6} \sqrt{50} \times 2000 \times 520$$

$$= 735391,05 \text{ N}$$

$$V_s = V_u - 0,6 V_c$$

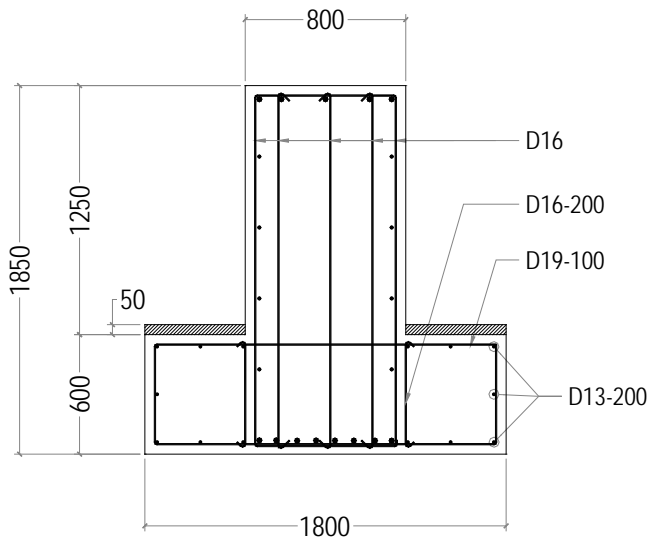
$$= 164608,95 \text{ N}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$\phi V_s = \frac{0,6 * A_v * f_y * d}{s} = \frac{0,6 * 402,12 * 400 * 520}{200} = 250922 \text{ N}$$

$$V_s < \phi V_s$$

$$164608,95 \text{ N} < 250922 \text{ N} \dots\dots \text{OK}$$

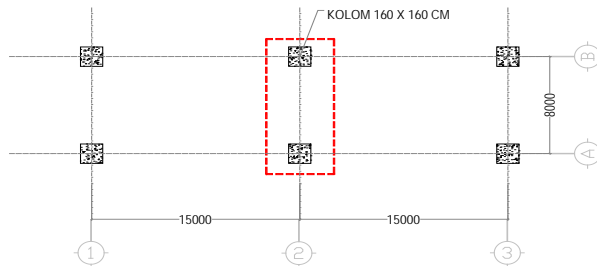


Gambar 5.18. Tulangan Konsol

5.6.2. Perencanaan Kolom Switch 3 in 1

Pada perencanaan Tugas Akhir ini, kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom tengah. Data perencanaan kolom tersebut adalah sebagai berikut:

- Mutu Beton : K-600 (f'_c 50 Mpa)
- Mutu Baja : 400 Mpa
- Dimensi kolom : 160/160 cm
- Tinggi Kolom (h) : 6,2 m
- Tebal *decking* : 70 mm
- Diameter Tulangan Utama : 32 mm
- Diameter Sengkang : 16 mm
- $d = h - \text{decking} - \phi(\text{sengkang}) - 0,5D(\text{utama})$
 $= 1600 - 70 - 16 - 0,5 \times 32 = 1498 \text{ mm}$



Gambar 5.19. Denah Kolom

Dengan menggunakan bantuan SAP2000 diperoleh besarnya gaya pada kolom atas adalah sebagai berikut:

- a) Gaya Aksial dominan (comb 6U=1,3DL + γ_{EQ} 1,8Live (P Buggy₁) + EQx + 0,3EQy
- | | | |
|-------|---|---------------|
| P_u | : | 6310,913 KN |
| M_x | : | 1179,7654 KNm |
| M_y | : | 278,9774 KNm |
| V_u | : | 643,69 KN |

- b) Gaya Momen dominan (comb 7U=1,3DL + γ_{EQ} 1,8Live (P Buggie₁) + EQx + 0,3EQy

Pu	:	4774,71	KN
Mx	:	7576,13	KNm
My	:	1784,77	KNm
Vu	:	215,484	KN

5.6.2.1 Perhitungan Tulangan Memanjang Kolom

- Perhitungan tulangan menggunakan diagram interaksi

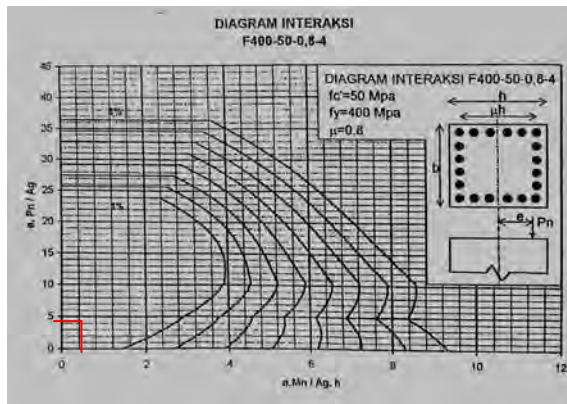
✓ Gaya Aksial Dominan

Pu	:	6310913	N
Mx	:	1179,76 x 10 ⁶	Nmm
My	:	278,98 x 10 ⁶	Nmm
Vu	:	643690	N

$$\frac{P_n}{\phi A_g} = \frac{6310913}{0,7 \times 1600 \times 1600} = 3,52$$

$$\frac{M_n}{\phi A_g \cdot h} = \frac{1179,76 \times 10^6}{0,7 \times (1600 \times 1600) \times 6200} = 0,11$$

Asumsi $\gamma = 0.8$



Gambar 5.20. Grafik Alignment Kolom

Dari grafik diagram interaksi, didapat $\rho = 0,01 \%$
(syarat $\rho = 1\%$ s/d 6%).

$$A_s = \rho \cdot A_g = 0.01 \times 1600 \times 1600 = 25600 \text{ mm}^2.$$

Jadi dipasang tulangan **36D32** ($A_s \text{ pasang} = 28952,9 \text{ mm}^2$)

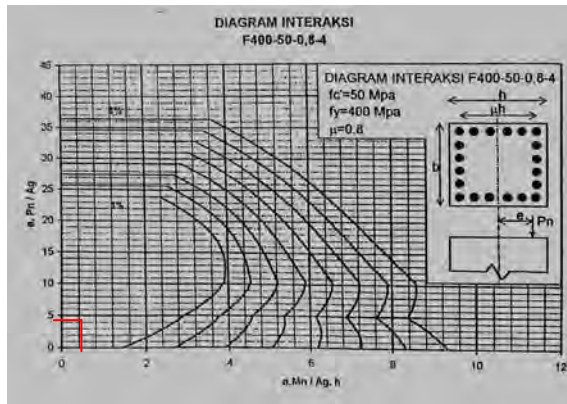
✓ Gaya Momen Dominan

P_u	:	4774710	N
M_x	:	$7576,13 \times 10^6$	Nmm
M_y	:	$1784,77 \times 10^6$	Nmm
V_u	:	215484	N

$$\frac{P_n}{\phi A_g} = \frac{4774710}{0,7 \times 1600 \times 1600} = 2,66$$

$$\frac{M_n}{\phi A_g \cdot h} = \frac{1784,77 \times 10^6}{0,7 \times (1600 \times 1600) \times 6200} = 0,16$$

Asumsi $\gamma = 0.8$



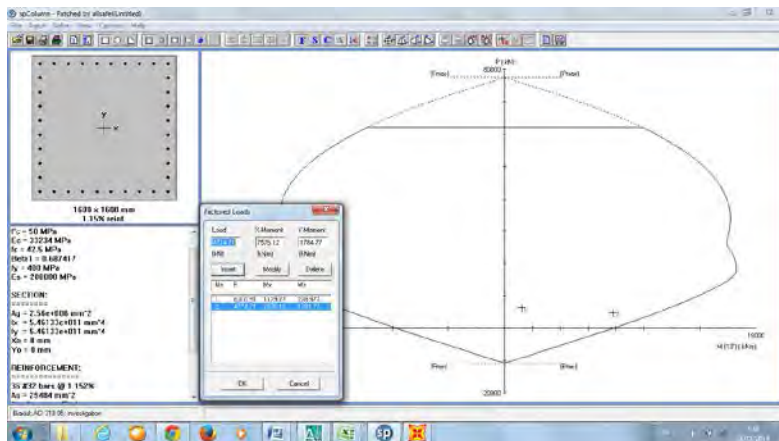
Gambar 5.21. Grafik Alignment Kolom

Dari grafik diagram interaksi, didapat $\rho = 0,01 \%$
(syarat $\rho = 1\%$ s/d 6%).

$$A_s = \rho \cdot A_g = 0.01 \times 1600 \times 1600 = 25600 \text{ mm}^2.$$

Jadi dipasang tulangan **36D32** ($A_s \text{ pasang} = 28952,9 \text{ mm}^2$)

- Cek menggunakan Program SP Column.



Gambar 5.22. Grafik Alignment Kolom

Kolom yang direncanakan diberi tulangan 36 D32 atau 1,15 % dengan menggunakan *software* *spColumn*. Prosentase kolom ini sesuai syarat *SNI 03-2847-2002 Ps. 13.4.2.2* yaitu antara 1% - 6% telah terpenuhi. Beban-beban yang terjadi berada di dalam kurva yang menandakan kolom tersebut mampu menahan gaya yang terjadi.

- Cek Jarak antar Tulangan :

Pada sisi $b = 1600 \text{ mm}$, dipasang 10D32 dengan 1 lapis.

$$S = \frac{1600 - (2 \times 70) - (2 \times 16) - (10 \times 32)}{9}$$

$$= 123,11 \text{ mm} > 40 \text{ mm (OK)}$$

5.6.2.2 Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Data perencanaan :

Tinggi kolom	:	6200	mm
Dimensi Kolom	b	1600	mm
	h	1600	mm
cover	:	70	mm
	d	1501	mm
Mutu beton	:	30	Mpa
Mutu baja	:	400	Mpa ($D \geq \emptyset 13$)
	:	240	Mpa ($D \leq \emptyset 13$)
\emptyset tul memanjang	:	D 32	mm
\emptyset tul sengkang	:	$\emptyset 13$	mm
Faktor reduksi (\emptyset)	:	0,75	

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.3*, Gaya geser rencana (V_e) pada komponen struktur tidak boleh kurang dari:

- Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.

$$V_e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n}$$

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:				
No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	fMnx kNm
1	6310.91	1179.77	278.98	11498.65
2	4774.71	7576.13	1784.77	10596.51

Gambar 5.23. Momen Nominal Kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} = \frac{11498,65 + 11498,65}{6,2} = 3709,24 \text{ KN}$$

$$= 3709240 \text{ N}$$

$$V_c = \left[1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \left[\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] \times b_w \times d$$

$$V_c = \left[1 + \frac{6310913}{14 \times 1600 \times 1600} \right] \left[\frac{\sqrt{50}}{6} \right] \times 1600 \times 1501$$

$$= 3328690,5 \text{ N}$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} * b_w * d$$

$$= \frac{1}{3} * 1600 * 1501 = 800533,3 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d = 5.660.625 \text{ N}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $3709240 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 3328690,5$
 $3709240 \text{ N} > 1061367,279 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $1245764,07 \text{ N} < 3709240 \text{ N} < 0,75 \times 3328690,5$
 $3709240 \text{ N} > 2122734,557 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$
 $3709240 \text{ N} < V_u \leq 0,75(3328690,5$
 $+ 800533,3)$
 $3709240 \text{ N} > 2723134,557 \text{ N}$ (tidak memenuhi)

$$4. \quad \phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d)$$

$$3090728,14 < V_u < 0,75(3328690,5 + 5.660.625)$$

$$3709240 \text{ N} < 6368203,671 \text{ N (memenuhi)}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{3709240 \text{ N}}{0,75} - 3328690,5 \text{ N}$$

$$= 1616962,8 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 4 kaki diameter 13 mm.

$$A_v = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 531 \text{ mm}^2$$

Sehingga jarak antar sengkang ,

$$S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{531 * 400 * 1501}{1616962,8} = 197 \text{ mm}$$

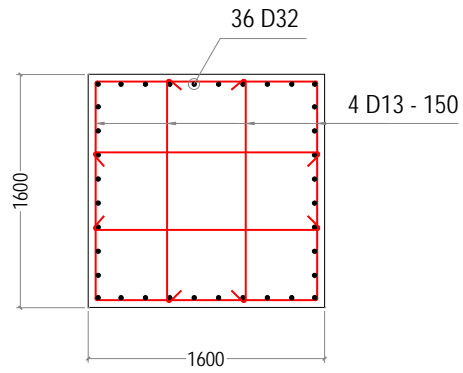
$$\approx \text{Dipasang } 150 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1501 / 4 = 375,25 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul. utama}$
 $\leq 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \text{ } \emptyset \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 13 = 312 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1501 / 2 = 750,5 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 4D13-150 mm



Gambar 5.24. Tulangan Kolom

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

PERENCANAAN BANGUNAN SWITCHPOINT 5 IN 1

6.1 Definisi

Switchpoint 5 in 1 merupakan suatu bangunan struktur yang memfasilitasi kereta monorel untuk berpindah jalur dari satu jalur monorel ke lima jalur monorel. Struktur switchpoint ini direncanakan menggunakan struktur beton bertulang yang terdiri dari :

- Pelat Lantai
- Balok
- Pier Head
- Pilar
- Pondasi

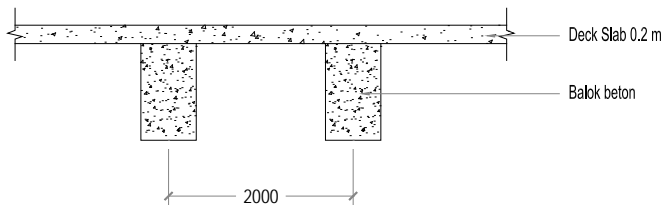
6.2 Perencanaan Pelat Lantai Switchpoint 3 in 1

Menurut SNI T-12-2004 ps. 5.5.2 tentang tebal minimum pelat lantai kendaraan, tebal pelat lantai kendaraan harus memenuhi persyaratan berikut :

$$\begin{aligned}d &\geq 200 \text{ mm} \\d &\geq 100 + 0,04 \cdot (b) \\&\geq 100 + 0,04 \cdot 2000 \\&\geq 180 \text{ mm}\end{aligned}$$

Direncanakan tebal pelat lantai switchpoint 200 mm dimana :

$$\begin{aligned}d &= \text{Tebal Lantai} \\b &= \text{Jarak antar balok tumpuan}\end{aligned}$$



Gambar 6.1. Pelat Lantai Switch 5 in 1

6.3 Pembebanan Lantai Switch

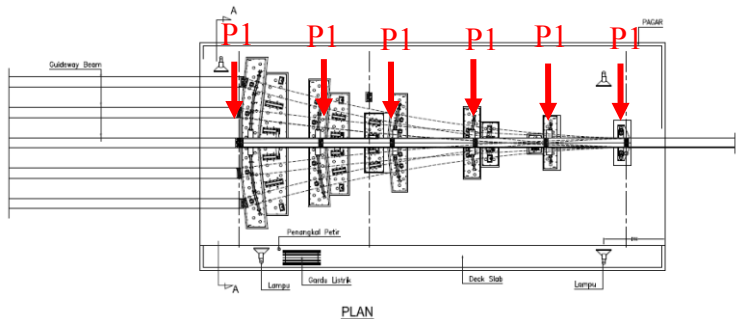
Pembebanan pada lantai Switch meliputi Beban Mati (dari plat itu sendiri), Beban Mati Tambahan (Track beam dan pelat baja landasan), Beban Hidup Track Monorel , Beban Angin dan Beban Gempa.

6.3.1 Beban Mati Tambahan

- Track beam

Track beam adalah balok yang menyerupai track monorel yang letak nya di area Switchpoint. Fungsinya adalah untuk memindahkan jalur kereta. Pada Switchpoint 3 in 1 ini terdapat 5 track beam yang masing-masing memiliki panjang 6 m. Dimensi dari Track Beam 0,8 x 1,8 m.

$$\begin{aligned}\text{Berat Track beam} &= (\text{Luas}_{\text{penampang}} \times \text{panjang} \times \text{BJ beton}) \\ &= (1,3894 \times 6 \times 2,5) \\ &= 20,841 \text{ Ton (P1)}\end{aligned}$$

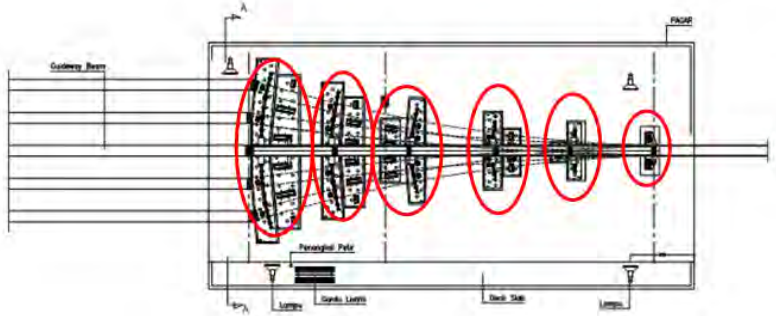


Gambar 6.2. Beban Track Beam

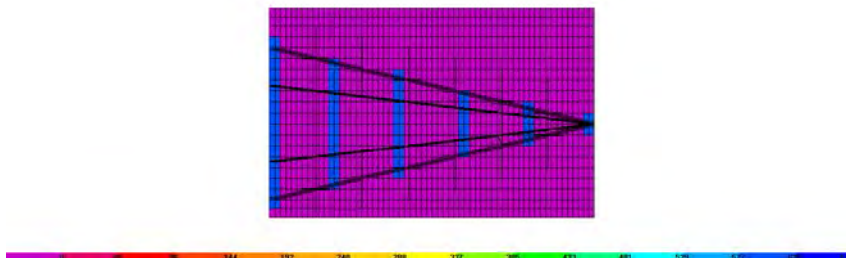
Beban P1 ini nanti nya akan ditambah dengan beban kereta yang melintas di atas nya sehingga menjadi beban **P buggie** yang bisa berpindah-pindah sesuai jalur. Jarak perpindahan track pada ujung sebesar 2,4 m.

- Pelat Baja Landasan

Beban mati pelat tumpuan Guideway Beam merata sesuai lokasi pelat tumpuan sebesar 625 kg/m^2 .



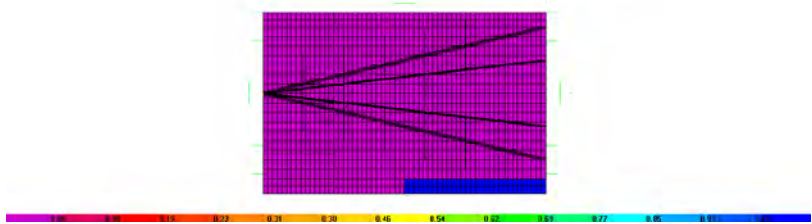
Gambar 6.3. Lokasi Pelat Tumpuan Guideway Beam



Gambar 6.4. Input Beban Pelat Tumpuan pada Permodelan

- Beban ME (Mechanical Electrical)

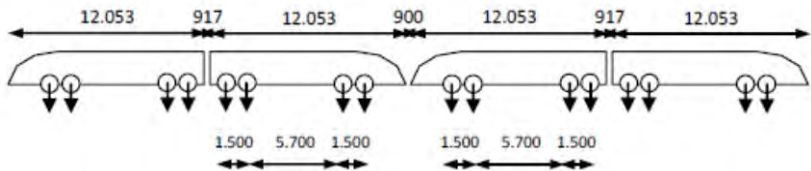
Beban mati mesin diasumsikan sebesar 1 Ton/m^2 terletak di bagian ujung ujung bangunan switch.



Gambar 6.5. Input Beban ME pada Permodelan

6.3.2 Beban Hidup Kereta

Formasi roda kereta yang akan lewat di atas Track Beam adalah sebagai berikut :



Gambar 6.6. Formasi Roda Kereta

- P aksial = 8 ton

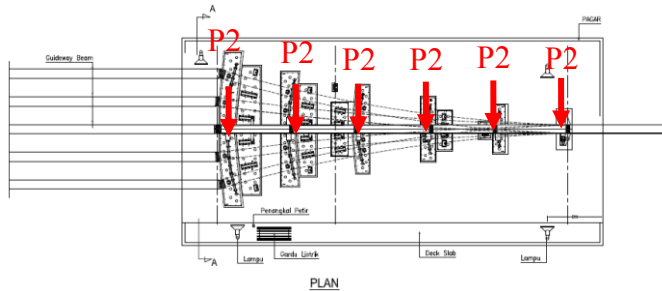
$$\frac{20}{50 + 20}$$

- Faktor kejut (i) = $\frac{20}{50 + 20} = 0,285 \approx 0,3$
- P aksial kereta = 8 ton + (8 x 0,3) = 10,4 ton
- Panjang track beam = 6 meter x 5 = 30 meter

“Diasumsikan beban gerbong kereta yang dapat masuk ke dalam area bangunan switch hanya 3 gerbong, selebihnya beban kereta sudah tidak masuk bangunan switch.”

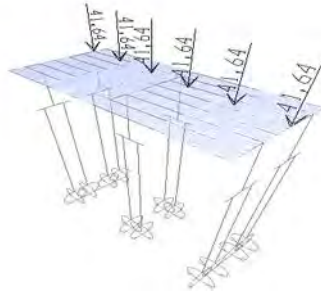
$$P_2 = \frac{12 \times 10,4 \text{ ton}}{6} = 20,8 \text{ ton}$$

(Beban hidup kereta yang masuk pada bangunan switch)



Gambar 6.7. Beban Hidup Track Beam

$$\text{Sehingga nilai } P_{\text{buggie}} = P_1 + P_2 = 20,841 + 20,8 = 41,64 \text{ ton}$$



Gambar 6.8. Beban P_{buggie} pada permodelan SAP

Adapun kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut :

- $DL + \gamma_{EQ} \text{Live (P Buggy)}$
- $DL + \gamma_{EQ} \text{Live (P Buggy)} + EQ_x + 0,3EQ_y$
- $DL + \gamma_{EQ} \text{Live (P Buggy)} + 0,3EQ_x + EQ_y$

Dimana : γ_{EQ} = faktor beban hidup kondisi gempa
 = 0,3 (Jembatan Penting)

6.4 Penulangan Pelat Lantai Swithpoint 5 in 1

Data perencanaan untuk penulangan pelat lantai antara lain :

$$f'_c = 50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$t = 200 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ lentur} = 22 \text{ mm (arah x)}$$

$$22 \text{ mm (arah y)}$$

$$\text{Decking} = 40 \text{ mm}$$

$$dx = t - \text{decking} - \frac{\phi \text{ tul.lentur } x}{2}$$

$$= 200 - 40 - \frac{22}{2} = 149 \text{ mm}$$

$$dy = t - \text{decking} - \phi \text{ tul.lentur } x - \frac{\phi \text{ tul.lentur } y}{2}$$

$$= 200 - 40 - 22 - \frac{22}{2} = 127 \text{ mm}$$

Dimana :

dx = jarak antara serat tekan terluar hingga pusat tulangan tarik untuk tulangan arah melintang.

dy = jarak antara serat tekan terluar hingga pusat tulangan tarik untuk tulangan arah memanjang.

Tabel 6.1. Momen yang terjadi pada SAP

Momen max yang terjadi pada SAP		
Kombinasi	Mx T.m	My T.m
COMB1U	15,14	13,55

6.4.1. Perhitungan Tulangan Arah Melintang

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50} = 9,41$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0.0035 \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 10.4.3})$$

menurut SNI-T-12-2004 nilai β_1 untuk beton dengan f'_c lebih dari 30 MPa adalah :

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30) \\ &= 0.85 - 0.008 \times (50 - 30) \\ &= 0.69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0.85 \times 50 \times 0.69}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3}) \\ &= 0,75 \times 0,044 \\ &= 0,033 \end{aligned}$$

$$M_u = 15,14 \text{ ton.m} = 15,14 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{15,14 \times 10^7}{0.8}$$

$$= 18,93 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{18,93 \times 10^7}{1000 \times 149^2}$$

$$= 8,524$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 8,524}{400}} \right)$$

$$= 0.0240$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0240 \times 1000 \times 149$$

$$= 3580,15 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D22-100 (As pasang = 3801 mm²)

6.4.2. Perhitungan Tulangan Arah Memanjang

$$M_u = 13,55 \text{ ton.m} = 13,55 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{13,55 \times 10^7}{0.8}$$

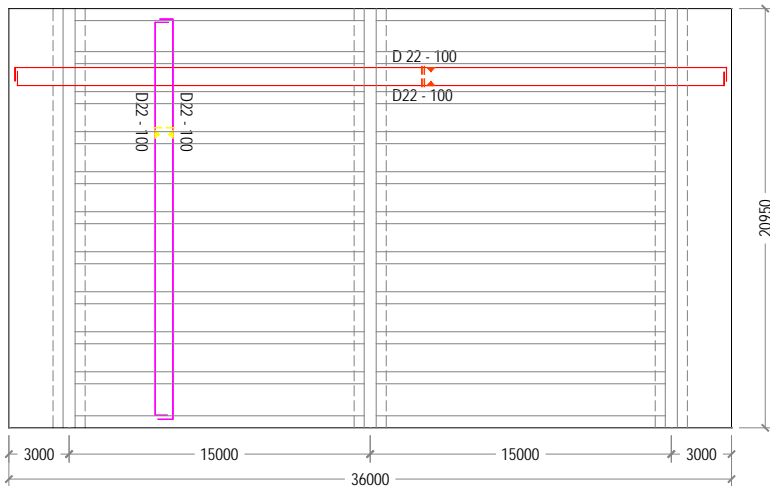
$$= 16,94 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{16,94 \times 10^7}{1000 \times 149^2} = 7,6292$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 7,6292}{400}} \right) \\
 &= 0.02118
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho \\
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,02118 \times 1000 \times 127 \\
 &= 31556,55 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D22-100 (As pasang = 3801 mm²)



Gambar 6.9. Tulangan Pelat Lantai Switch 5 in 1

6.5 Perencanaan Balok Switchpoint 3 in 1

Data perencanaan yang akan digunakan untuk merencanakan balok switch 3 in 1 adalah :

- Bentang balok = 15 m
- Panjang Balok = 14,4 m
- Mutu Beton = K-600 ($f'_c = 50 \text{ Mpa}$)
- Mutu Baja = 400 Mpa dan 240 Mpa
- Jarak antar balok = 2 m

6.5.1. Preliminary Desain

Karena jarak-jarak dan bentang antar balok sama dengan balok switch 3 in 1, maka dimensi balok direncanakan sama dengan dimensi balok switch 3 in 1 yaitu 60 x 120 cm.

6.5.2. Perhitungan Tulangan Balok 60 x 120 cm

Dari analisa program SAP2000 didapat nilai gaya dalam dari balok tersebut dengan hasil sebagai berikut :

- Mu tumpuan kanan : 738.409.909 Nmm
- Mu tumpuan kiri : 381.819.157 Nmm
- Mu lapangan : 1019.855.699 Nmm
- Vu tumpuan : 884.652,6 N
- Vu lapangan : 486.615,06 N
- Tu : 186962045,2 Nmm

Data Perencanaan Balok :

• b	=	600	mm
• h	=	1200	mm
• Decking	=	70	mm
• Tulangan Pokok	=	25	mm
• Senggang	=	13	mm
• Mutu Beton	=	K-600 ($f'_c = 50$ Mpa)	
• Mutu Baja	=	400 Mpa dan 240 Mpa	

$$d = 1200 - 70 - 13 - (1/2 \times 25) = 1104,5 \text{ mm}$$

$$d' = 1200 - 1104,5 = 95,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30) \\ &= 0.85 - 0.008 \times (50 - 30) \\ &= 0.69\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0.85 \times 50 \times 0.69}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b && (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3}) \\ &= 0,75 \times 0,044 \\ &= 0,033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50} \\ &= 9,41\end{aligned}$$

❖ **Perhitungan Tumpuan**

Mu tumpuan kanan = 738.409.909 Nmm

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{738409909}{0.8} \\ = 923012386,3 \text{ N.mm}$$

$$X_b = \frac{600}{(600 + f_y)} x d = \frac{600}{(600 + 400)} x 1104,5 \\ = 662,7 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 x X_b = 0,75 x 662,7 = 497,025 \text{ mm}$$

$$X_{\min} = h - d = 1200 - 1104,5 = 95,5 \text{ mm}$$

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{C_c}{f_y} = \frac{0,85 x f'_c x b x \beta_1 x X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ = \frac{0,85 x 50 x 600 x 0,69 x 150}{400} \\ = 6598,125 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} x f_y \left(d - \frac{\beta_1 x X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ = 6598,125 x 400 x \left(1104,5 - \frac{0,69 x 150}{2} \right) \\ = 2778470438 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} \\ = 923012386,3 - 2778470438 \\ = -1855458052 \text{ Nmm}$$

(Tidak Perlu Tulangan Tekan = Pakai Tulangan tunggal)

Perencanaan Tulangan T tunggal :

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{923012386,3}{600 \times 1104,5^2}$$

$$= 1,26$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,26}{400}} \right)$$

$$= 0,0032$$

$$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\text{PERLU}}, \text{ pakai } \rho_{\text{MIN}}$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 600 \times 1104,5$$

$$= 2120,64 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times 2120,64$$

$$= 1060,32 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 186962045,2 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0,75} = \frac{186962045,2}{0,75} = 249282726,9 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$Ph = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{720000^2}{3600} \right) \\ &= 63639610,31 \text{ Nmm} \\ &= 63639610,31 \text{ Nmm} < T_u = 202964077 \text{ Nmm} \\ &\quad (\text{Torsi diperhitungkan}) \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yv} * \cot \theta} \\ &= \frac{249282726,9}{2 * 397807,65 * 240 * \cot 45} = 1,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ &= 1,31 \times 2988 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 2348,568 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{2348,568}{4} = 587,142 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya tulangan torsi disebar merata pada keempat sisi balok. Khusus untuk tulangan lentur atas dan bawah luasannya ditambahkan dengan tulangan torsi

$$\begin{aligned} \text{Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 2120,64 + 587,142 = 2707,782 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lentur Bawah} &= A_s' + \frac{A_l}{4} \\ &= 1060,32 + 587,142 = 1647,462 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{Al/4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{587,142}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 2,92 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4D 16 ($A_{s\text{pasang}} = 804,64 \text{ mm}^2$)

Jumlah Tulangan tumpuan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s\text{perlu tarik}} = 2707,782 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **8D25** ($A_{s\text{pasang}} = 3.926,99 \text{ mm}^2$)

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s'\text{perlu tekan}} = 1647,462 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **4D25** ($A_{s'\text{pasang}} = 1.963,50 \text{ mm}^2$)

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Øsengkan}) - (n \times \text{Øtul. utama})}{n - 1} \\ &= \frac{600 - (2 \times 70) - (2 \times 13) - (6 \times 25)}{6 - 1} \\ &= 56,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang:

$$a = \frac{A_{s\text{pasang}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{3926,99 \times 400}{0,85 \times 50 \times 600} = 615,99 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 3.926,99 \times 400 \times \left(1076,1 - \frac{615,99}{2} \right)$$

$$= 1.206.606.947 \text{ Nmm} > 923.012.386,3 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Menurut SNI 2847 ps 23.10.4.1 bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$A_s' = 1.963,50 \text{ mm}^2 \geq 1/3 A_{s \text{ aktual}} = 1/3 \times 3.926,99 \\ = 1308,99 \text{ mm}^2$$

Perhitungan Tulangan Geser

- Momen lapangan positif

$$A_s = 3.926,99 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{3926,99 * 400}{0,85 * 50 * 600} = 615,99 \text{ mm}$$

$$Mn^+ = A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ = 3.926,99 * 400 * \left(1076,1 - \frac{615,99}{2} \right) \\ = 1.206.606.947 \text{ Nmm}$$

- Momen lapangan negatif

$$A_s = 1.963,50 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{1.963,50 * 400}{0,85 * 50 * 600} = 30,8 \text{ mm}$$

$$Mn^- = A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ = 1.963,50 * 400 * \left(1076,1 - \frac{30,8}{2} \right) \\ = 833.073.780 \text{ Nmm}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_n^- + M_n^+}{l_n} + V_u \\
 &= \frac{833.073.780 + 1.206.606.947}{14400} + 884.652,6 \\
 &= 1026297,095 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{50} * 600 * 1076,1 \\
 &= 760917,61 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{3} * 600 * 1076,1 = 215220 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $1026297,095 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 760917,61$
 $1026297,095 \text{ N} > 285344,11 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $285344,11 \text{ N} < 1026297,095 \text{ N} < 0,75 \times 760917,61$
 $1026297,095 \text{ N} > 570688,21 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$
 $570688,21 \text{ N} < V_u \leq 0,75 (760917,61 + 215220)$
 $1026297,095 \text{ N} > 732103,21 \text{ N}$ (tidak memenuhi)

$$4. \quad \phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d)$$

$$732103,21 < V_u < 0,75(760917,61 + \frac{1}{3} \sqrt{50} * 600 * 1076,1)$$

$$1026297,095 \text{ N} < 1.712.064,62 \text{ N (memenuhi)}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{1026297,095 \text{ N}}{0,75} - 760917,61 \text{ N}$$

$$= 607478,51 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 3 kaki diameter 13 mm.

$$A_v = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 398.2 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur Transversal)

$$T_u = 186962045,2 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{186962045,2}{0.75} = 249.282.726,9 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{Øsengkang})$$

$$= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{Øsengkang})$$

$$= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{720000^2}{3600} \right) \\
 &= 63639610,31 \text{ Nmm} \\
 &= 63.639.610,31 \text{ Nmm} < T_u = 186962045,2 \text{ Nmm} \\
 &\quad (\text{Torsi diperhitungkan})
 \end{aligned}$$

Cek penampang balok:

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d} \right)^2 + \left(\frac{T_u * \phi_h}{1,7 * A_{oh}^2} \right)^2} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2\sqrt{f'c}}{3} \right) \\
 \sqrt{\left(\frac{1026297,095}{600 * 1076,1} \right)^2 + \left(\frac{186962045,2 * 2988}{1,7 * 468009^2} \right)^2} &\leq \phi \left(\frac{760917,61}{600 * 1076,1} + \frac{2\sqrt{50}}{3} \right) \\
 2,18 &< 4,42 \\
 &\quad (\text{penampang cukup})
 \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y} \\
 &= \frac{186962045,2}{2 * 0,75 * \cot 45 * 600 * 1076,1 * 400} = 0,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{607478,51}{400 * 1076,1} = 1,41 \text{ mm}^2$$

A_v pada tulangan sengkang 3 kaki D13 = 398,2 mm²

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 0,48 + (2 \times 1,41) = 3,3 \text{ mm}^2$$

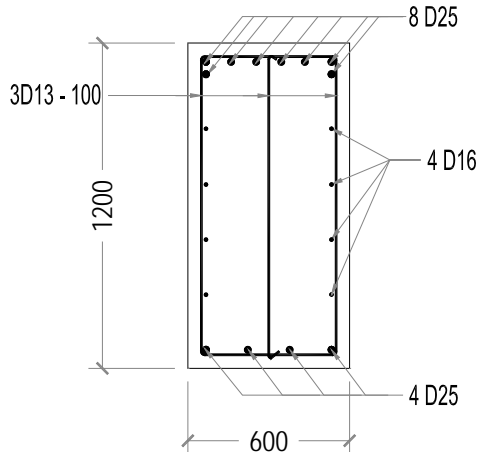
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{398,2}{3,3} = 120,67 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 100 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1076,1 / 4 = 269,025 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \varnothing \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 13 = 312 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1076,1 / 2 = 538,05 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 3D13-100



Gambar 6.10. Tulangan Tumpuan Balok 60/120 cm

❖ **Perhitungan Lapangan**

$$\text{Mu Lapangan} = 1019.855.699 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0.8} = \frac{1019855699}{0.8} \\ &= 1274819624 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} x d = \frac{600}{(600 + 400)} x 1104,5 \\ &= 662,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b = 0,75 \times 662,7 = 497,025 \text{ mm}$$

$$X_{\min} = h - d = 1200 - 1104,5 = 95,5 \text{ mm}$$

$$X_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} = \frac{0,85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 50 \times 600 \times 0,69 \times 120}{400} \\ &= 6502,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 6502,5 \times 400 \times \left(1104,5 - \frac{0,69 \times 120}{2} \right) \\ &= 2740153500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 1274819624 - 2740153500 \\ &= -1465333876 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(Tidak Perlu Tulangan Tekan = Pakai Tulangan tunggal)

Perencanaan Tulangan T tunggal :

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1274819624}{600 \times 1104,5^2}$$

$$= 1,74$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,74}{400}} \right)$$

$$= 0,0044$$

$$\rho_{\min} < \rho > \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0044 \times 600 \times 1104,5$$

$$= 2944,29 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 0,5 \times 2944,29$$

$$= 1472,15 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 186962045,2 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{186962045,2}{0.75} = 249282726,9 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{249282726,9}{2 \times 397807,65 \times 240 \times \cot 45} = 1,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ &= 1,31 \times 2988 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 2348,568 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{2348,568}{4} = 587,142 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya tulangan torsi disebar merata pada keempat sisi balok. Khusus untuk tulangan lentur atas dan bawah luasannya ditambahkan dengan tulangan torsi

$$\begin{aligned} \text{Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 2944,29 + 587,142 = 3531,432 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lentur Bawah} &= A_s' + \frac{A_l}{4} \\ &= 1472,15 + 587,142 = 2059,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{A_l / 4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{587,142}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 2,92 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4D 16 ($A_{s\text{pasang}} = 804,64\text{mm}^2$)

Jumlah Tulangan lapangan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s\text{perlu tarik}} = 3531,432 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **9D25** ($A_{s\text{pasang}} = 4417,86 \text{ mm}^2$)

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s'\text{perlu tekan}} = 2059,3 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **6D25** ($A_{s\text{pasang}} = 2945,24 \text{ mm}^2$)

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\ &= \frac{600 - (2 \times 70) - (2 \times 13) - (7 \times 25)}{7 - 1} \\ &= 43,16 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang:

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{s\text{pasang}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{4417,86 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 600} \\ &= 69,29 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{aktual}} &= d - \text{cover} - \varnothing \text{sengkang} - \varnothing \text{tul} - \left(\frac{2}{7} \cdot \text{jarak.tul} \right) \\ &= 1200 - 70 - 13 - 25 - \left(\frac{2}{7} \cdot 43,16 \right) \\ &= 1082,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 4417,86 * 400 * \left(1082,4 - \frac{69,29}{2}\right) \\
 &= 1.851.533.962 \text{ Nmm} > 1.274.819.624 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 ps 23.10.4.1 bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 2945,24 \text{ mm}^2 \geq 1/3 A_{s \text{ aktual}} = 1/3 \times 4417,86 \\
 &= 1472,62 \text{ mm}^2 \text{ (oke)}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan Tulangan Geser

- Momen lapangan positif

$$A_s = 4417,86 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} * f_y}{0,85 * f'c * b} = \frac{4417,86 * 400}{0,85 * 50 * 600} = 69,29 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n^+ &= A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 4417,86 * 400 * \left(1082,4 - \frac{69,29}{2}\right) \\
 &= 1.851.533.962 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Momen lapangan negatif

$$A_s = 2945,24 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} * f_y}{0,85 * f'c * b} = \frac{2945,24 * 400}{0,85 * 50 * 600} = 46,2 \text{ mm}$$

$$M_n^- = A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2}\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2945,24 * 400 * \left(1082,4 - \frac{46,2}{2} \right) \\
 &= 1.247.957.093 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_n^- + M_n^+}{l_n} + V_u \\
 &= \\
 &\frac{1.851.533.962 + 1.247.957.093}{14400} + 486.615,06 \\
 &= 701857,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{50} * 600 * 1082,4 \\
 &= 765372,38 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{3} * 600 * 1076,1 = 216480 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $701857,5 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 765372,38$
 $701857,5 \text{ N} > 287014,64 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $287014,64 \text{ N} < 701857,5 \text{ N} < 0,75 \times 765372,38$
 $701857,5 \text{ N} > 574029,3 \text{ N}$ (tidak memenuhi)

3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{smin})$
 $574029,3 \text{ N} < V_u \leq 0,75 (765372,38 + 216480)$
 $701857,5 \text{ N} < 736389,3 \text{ N}$ (memenuhi)

S direncanakan 150 mm

$$A_{v \min} = \frac{b_w * S}{3 * f_y} = \frac{600 * 150}{3 * 400} = 75 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur Transversal)

$$T_u = 202964077 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{202964077}{0.75} = 270618769,3 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 600 \times 1200 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (600 + 1200) = 3600 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 600 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 447 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang})$$

$$= 1200 - (2 \times 70) - (2 \times 6,5) = 1047 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 447 \times 1047 = 468009 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 468009 = 397807,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (447 + 1047) = 2988 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{720000^2}{3600} \right) \\ &= 63639610,31 \text{ Nmm} \\ &= 63.639.610,31 \text{ Nmm} < T_u = 186962045,2 \text{ Nmm} \\ &\text{(Torsi diperhitungkan)} \end{aligned}$$

Cek penampang balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{701857,5}{600 * 1082,4}\right)^2 + \left(\frac{186962045,2 * 2988}{1,7 * 468009^2}\right)^2} \leq$$

$$0,75 \left(\frac{765372,38}{600 * 1082,4} + \frac{2\sqrt{50}}{3} \right)$$

$$1,85 < 4,41 \dots\dots\dots(\text{penampang cukup})$$

Tulangan torsi perlu:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y}$$

$$= \frac{186962045,2}{2 * 0,75 * \cot 45 * 600 * 1082,4 * 400} = 0,48 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{216480}{400 * 1082,4} = 0,5 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ pada tulangan sengkang 2 kaki D13} = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 0,48 + (2 * 0,5) = 1,48 \text{ mm}^2$$

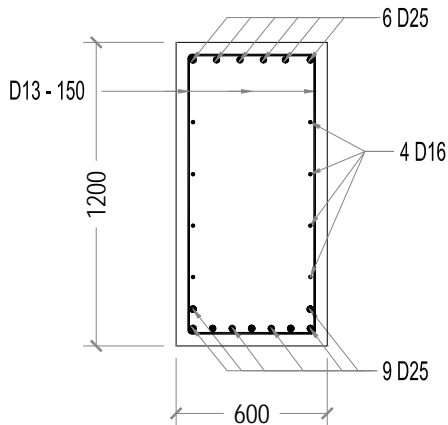
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{265,46}{1,48} = 179,3 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 150 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1082,4 / 4 = 270,6 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \varnothing \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 13 = 312 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1082,4 / 2 = 541,2 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 2D13-150



Gambar 6.11. Tulangan Tumpuan Balok 60/120 cm

- ❖ Kombinasi Pembebanan kerja :
 - $DL + Live$ (P Buggie_{1,2,3,4,5})
 - $DL + \gamma_{EQ} Live$ (P Buggie_{1,2,3,4,5}) + $EQx + 0,3EQy$
 - $DL + \gamma_{EQ} Live$ (P Buggie_{1,2,3,4,5}) + $0,3EQx + EQy$
- ❖ Kombinasi Pembebanan Ultimate :
 - $1,3DL + 1,8Live$ (P Buggie_{1,2,3,4,5})
 - $1,3DL + \gamma_{EQ} 1,8Live$ (P Buggie_{1,2,3,4,5}) + $EQx + 0,3EQy$
 - $1,3DL + \gamma_{EQ} 1,8Live$ (P Buggie_{1,2,3,4,5}) + $0,3EQx + EQy$

Dimana :

γ_{EQ} = faktor beban hidup kondisi gempa
 = 0,3 (Jembatan Penting)

DL = Beban mati / berat sendiri bangunan

Live= Beban Hidup (beban pekerja)

P Buggy_{1,2,3,4,5} = Beban kereta yang berjalan pada jalur_{1,2,3,4,5}

6.6.1.2 Perhitungan tulangan Pier Head

Dengan bantuan program bantu SAP 2000 didapat gaya-gaya dalam pada balok pier head. Berikut gambar bidang momen akibat beban yang terjadi pada balok pier head :



Gambar 6.13. Bidang Momen Akibat Kombinasi beban gempa



Gambar 6.14. Bidang Momen Akibat Kombinasi beban Tetap

Gaya-Gaya yang terjadi :

• Mu tumpuan kanan	: -3963880414	Nmm
• Mu tumpuan kiri	: -1.994.454.534	Nmm
• Mu lapangan	: 1.332.380.636	Nmm
• Vu tumpuan	: - 1.681.330	N
• Vu lapangan	: - 1.250.901	N
• Tu Tumpuan	: 1.284.059.304	Nmm
• Tu Lapangan	: 411.333.352	Nmm

Data Perencanaan Balok :

• b	=	800	mm
• h	=	1850	mm
• Decking	=	80	mm
• Tulangan Pokok	=	32	mm
• Tulangan Sengkang	=	16	mm
• Tulangan Torsi	=	22	mm
• Mutu Beton	=	K-600 ($f'_c = 50$ Mpa)	
• Mutu Baja	=	400 Mpa dan 240 Mpa	

$$d = 1850 - 80 - 16 - (1/2 \times 32) = 1738 \text{ mm}$$

$$d' = 1850 - 1738 = 112 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30) \\ &= 0.85 - 0.008 \times (50 - 30) \\ &= 0.69\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1 \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]}{f_y}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0.85 \times 50 \times 0.69 \left[\frac{600}{600 + 400} \right]}{400} \\ &= 0,044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b && (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3}) \\ &= 0,75 \times 0,044 \\ &= 0,033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 50} \\ &= 9,41\end{aligned}$$

❖ **Perencanaan Tulangan Tumpuan :**

Mu tumpuan kanan : 3963880414 Nmm

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{0,8} = \frac{3963880414}{0,8} \\ &= 4954850518 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{4954850518}{800 \times 1738^2} \\ &= 2,05\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 2,05}{400}} \right) \\ &= 0,0053\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, pakai ρ

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0053 \times 800 \times 1738 \\ &= 7307,98 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,5 \times 7307,98 \\ &= 3653,99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 1.284.059.304 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{1.284.059.304}{0.75} = 1.712.079.072 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 800 \times 1850 = 1480000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (800 + 1850) = 5300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ &= 800 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 624 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{ Øsengkang}) \\ &= 1850 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 1674 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 624 \times 1674 = 1044576 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 1044576 = 887889,6 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (624 + 1674) = 4596 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{1480000^2}{5300} \right) \\ &= 182.647.016 \text{ Nmm} \\ &= 182.647.016 \text{ Nmm} < T_u = 1.284.059.304 \text{ Nmm} \\ &\quad (\text{Torsi diperhitungkan}) \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yv} * \cot \theta} \\ &= \frac{1.712.079.072}{2 * 887889,6 * 240 * \cot 45} = 4,02 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned}A_l &= \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ &= 4,02 \times 4596 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 11077,83 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{A_l}{4} = \frac{11077,83}{4} = 2769,45 \text{ mm}^2$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{A_l / 4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{2769,45}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 7,28 \approx 8 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan torsi 8D 22 ($A_{s_{pasang}} = 3041,1 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}\text{Tul Lentur Atas} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 7307,98 + 2769,45 = 10077,45 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tul Lentur Bawah} &= A_s' + \frac{A_l}{4} \\ &= 3653,99 + 2769,45 = 6423,45 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan tumpuan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s\text{perlu tarik}} = 10077,45 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{14D32} \quad (A_{s\text{pasang}} = 11259,46 \text{ mm}^2)$$

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s'\text{perlu tekan}} = 6423,45 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{8D32} \quad (A_{s'\text{pasang}} = 6433,98 \text{ mm}^2)$$

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2x\text{decking}) - (2x\varnothing\text{sengkang}) - (nx\varnothing\text{tul.utama})}{n - 1} \\ &= \frac{800 - (2x80) - (2x16) - (8 * 32)}{8 - 1} \\ &= 50,28 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tekan memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2x\text{decking}) - (2x\varnothing\text{sengkang}) - (nx\varnothing\text{tul.utama})}{n - 1} \\ &= \frac{800 - (2x80) - (2x16) - (7 * 32)}{7 - 1} \\ &= 64 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tarik memenuhi}) \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang :

$$a = \frac{A_{s.\text{pasang}} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{11259,46 * 400}{0,85 * 50 * 800} = 132,46 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} d_{\text{aktual}} &= d - \text{cover} - \varnothing\text{sengkang} - \varnothing\text{tul} - \left(\frac{1}{2} * \text{jarak.tul} \right) \\ &= 1850 - 80 - 16 - 32 - \left(\frac{1}{2} * 132,6 \right) \\ &= 1655,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 11259,46 \cdot 400 \cdot \left(1655,7 - \frac{132,6}{2} \right) \\
 &= 7.158.624.934 > 3.028.938.860 \text{ Nmm (OK)}
 \end{aligned}$$

❖ **Perhitungan Tulangan Geser**

$$V_u = 1.681.330 \text{ N}$$

- Momen lapangan positif

$$A_s = 11259,46 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{11259,46 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 800} = 132,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n^+ &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 11259,46 \cdot 400 \cdot \left(1655,4 - \frac{132,6}{2} \right) \\
 &= 7.158.624.934 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Momen lapangan negatif

$$A_s = 6433,98 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{6433,98 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 800} = 75,69 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n^- &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 6433,98 \cdot 400 \cdot \left(1655,4 - \frac{75,69}{2} \right) \\
 &= 4.163.694.798 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$V_u = \frac{M_n^- + M_n^+}{l_n} + V_u$$

$$= \frac{4.163.694.798 + 7.158.624.934}{7000} + 1.681.330$$

$$= 3.298.805 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{50} * 800 * 1655,4 = 1561008,93 \text{ N}$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} * b_w * d$$

$$= \frac{1}{3} * 800 * 1655,4 = 441520 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d = 3.122.018 \text{ N}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $3.298.805 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 1561008,93$
 $3.298.805 \text{ N} > 585378,35 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $585378,35 \text{ N} < 3.298.805 \text{ N} < 0,75 \times 1561008,93$
 $3.298.805 \text{ N} > 1170756,69 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$
 $1170756,69 \text{ N} < V_u \leq 0,75(1561008,93 + 441520)$

$$3.298.805 \text{ N} > 1501896,69 \text{ N (tidak memenuhi)}$$

$$4. \quad \phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d)$$

$$1501896,69 < V_u < 0,75(1561008,93 + 3.122.018)$$

$$3.298.805 \text{ N} < 3512270,1 \text{ N (memenuhi)}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{3.298.805 \text{ N}}{0,75} - 1561008,93 \text{ N}$$

$$= 2837397,1 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 5 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek penampang balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{3.298.805}{800 * 1655,4}\right)^2 + \left(\frac{1.284.059.304 * 4596}{1,7 * 1044576^2}\right)^2} \leq \phi$$

$$\left(\frac{1561008,93}{800 * 1655,4} + \frac{2\sqrt{50}}{3}\right)$$

$$3,42 < 4,42 \text{ (penampang cukup)}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y}$$

$$= \frac{1.284.059.304}{2 * 0,75 * \cot 45 * 800 * 1655,4 * 400} = 1,62 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{2837397,1}{400 * 1655,4} = 4,28 \text{ mm}^2$$

A_v pada tulangan sengkang 5 kaki D16 = 1005,31 mm²

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 1,62 + (2 \times 4,28) = 10,1 \text{ mm}^2$$

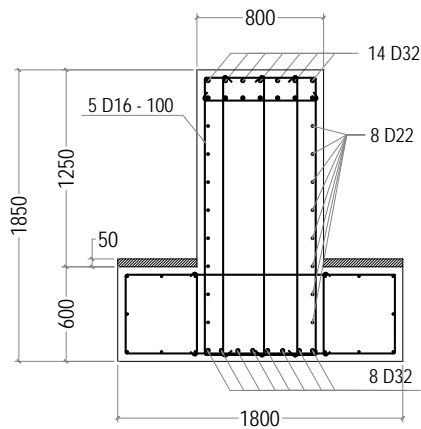
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{1005,31}{10,1} = \text{Dipasang } 100 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1680,4 / 4 = 420,1 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
- $S \leq 24 \text{ } \emptyset \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 16 = 384 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1680,4 / 2 = 840,2 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 5D16-100



Gambar 6.15. Tulangan Tumpuan balok Pier Head Switch

❖ **Perencanaan Tulangan Lapangan :**

Mu Lapangan : 1.332.380.636 Nmm

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{1.332.380.636}{0.8} \\ = 1665475795 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1665475795}{800 \times 1738^2} \\ = 0,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 0,69}{400}} \right) \\ = 0,0035$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, pakai ρ

$$A_s = \rho \times b \times d \\ = 0,0035 \times 800 \times 1738 \\ = 4866,4 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times 4866,4 \\ = 2433,2 \text{ mm}^2$$

Penulangan Torsi (lentur longitudinal)

$$T_u = 411.333.352 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0.75} = \frac{411.333.352}{0.75} = 548.444.469 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = b \times h = 800 \times 1850 = 1480000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (800 + 1850) = 5300 \text{ mm}$$

$$X_1 = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{Øsengkang})$$

$$= 800 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 624 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \text{Øsengkang})$$

$$= 1850 - (2 \times 80) - (2 \times 8) = 1674 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_1 = 624 \times 1674 = 1044576 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 1044576 = 887889,6 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_1 + Y_1) = 2 \times (624 + 1674) = 4596 \text{ mm}$$

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{50}}{12} \left(\frac{1480000^2}{5300} \right) \\ &= 182.647.016 \text{ Nmm} \\ &= 182.647.016 \text{ Nmm} < T_u = 411.333.352 \text{ Nmm} \\ &\quad (\text{Torsi diperhitungkan}) \end{aligned}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ &= \frac{548.444.469}{2 \times 887889,6 \times 240 \times \cot 45} = 1,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan perlu:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ &= 1,286 \times 4596 \times \left(\frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 = 3548,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang

$$\frac{Al}{4} = \frac{3548,65}{4} = 887,16 \text{ mm}^2$$

Tiap sisi samping balok, penulangan torsi dipasang sebanyak:

$$n = \frac{Al/4}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{887,16}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 3,2 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan torsi 4D 22 ($As_{\text{pasang}} = 1520,5$)

$$\begin{aligned} \text{Tul Lentur Atas} &= As + \frac{Al}{4} \\ &= 4866,4 + 887,16 = 5753,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tul Lentur Bawah} &= As' + \frac{Al}{4} \\ &= 2433,2 + 887,16 = 3320,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan tumpuan perlu:

- Tulangan tarik pasang:

$$As_{\text{perlu tarik}} = 5753,56 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{8D32} (As_{\text{pasang}} = 6433,98 \text{ mm}^2)$$

- Tulangan tekan pasang:

$$As'_{\text{perlu tekan}} = 3320,36 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{5D32} (As_{\text{pasang}} = 4021,23 \text{ mm}^2)$$

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\ &= \frac{800 - (2 \times 80) - (2 \times 16) - (8 \times 32)}{8 - 1} \\ &= 50,28 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tekan memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkan}) - (n \times \varnothing \text{tul.utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{800 - (2 \times 80) - (2 \times 16) - (5 \times 32)}{5 - 1} \\
 &= 112 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Tulangan tarik memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang :

$$a = \frac{As_{\text{pasang}} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{6433,98 * 400}{0,85 * 50 * 800} = 75,69 \text{ mm}$$

$$M_n = As * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$d_{\text{aktual}} = 1738$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 6433,98 * 400 * \left(1738 - \frac{75,69}{2} \right) \\
 &= 4.375.501.478 \text{ Nmm} > 1.332.380.636 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 1250901 \text{ N}$$

- Momen lapangan positif

$$As = 8042,47 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As_{\text{pasang}} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{6433,98 * 400}{0,85 * 50 * 800} = 75,69 \text{ mm}$$

$$M_n^+ = As * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) = 4.375.501.478 \text{ Nmm}$$

- Momen lapangan negatif

$$As = 4021,23 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As_{\text{pasang}} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = \frac{4021,23 * 400}{0,85 * 50 * 800} = 47,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn^- &= As * fy * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 4021,23 * 400 * \left(1738 - \frac{47,3}{2} \right) \\
 &= 2.757.517.167 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser rencana:

$$\begin{aligned}
 Vu &= \frac{Mn^- + Mn^+}{ln} + Vu \\
 &= 2.142.528 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vc &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{50} * 800 * 1738 = 1638602,11 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vs_{\min} &= \frac{1}{3} * b_w * d \\
 &= \frac{1}{3} * 800 * 1738 = 463466,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$Vs = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} * b_w * d = 3.277.204 \text{ N}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $Vu \leq 0,5 \phi Vc$
 $2.142.528 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 1638602,11$
 $2.142.528 \text{ N} > 614475,79 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5\phi Vc < Vu \leq \phi Vc$
 $614475,79 \text{ N} < 2.142.528 \text{ N} < 0,75 \times 1638602,11$
 $2.142.528 \text{ N} > 1228951,59 \text{ N}$ (tidak memenuhi)

$$3. \quad \phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{smin})$$

$$1228951,59 \text{ N} < V_u \leq 0,75(1638602,11 + 463466,67)$$

$$2.142.528 \text{ N} > 1576551,59 \text{ N (tidak memenuhi)}$$

$$4. \quad \phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d)$$

$$1576551,59 < V_u < 0,75(1638602,11 + 3.277.204)$$

$$2.142.528 \text{ N} < 3686854,757 \text{ N (memenuhi)}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{2.142.528 \text{ N}}{0,75} - 1638602,11 \text{ N}$$

$$= 1218102,3 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 5 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek penampang balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * \rho_h}{1,7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{2.142.528}{800 * 1738}\right)^2 + \left(\frac{411.333.352 * 4596}{1,7 * 1044576^2}\right)^2} \leq \phi$$

$$\left(\frac{1638602,11}{800 * 1738} + \frac{2\sqrt{50}}{3}\right)$$

$$1,36 < 4,41 \text{ (penampang cukup)}$$

Tulangan torsi perlu:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 * \phi * \cot \theta * b * d * f_y}$$

$$= 0,49 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y * d} = \frac{1218102,3}{400 * 1738} = 1,75 \text{ mm}^2$$

A_v pada tulangan sengkang 5 kaki D16 = 1005,31 mm²

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_t}{s} + 2 \frac{A_v}{s} = 0,49 + (2 \times 1,75) = 3,99 \text{ mm}^2$$

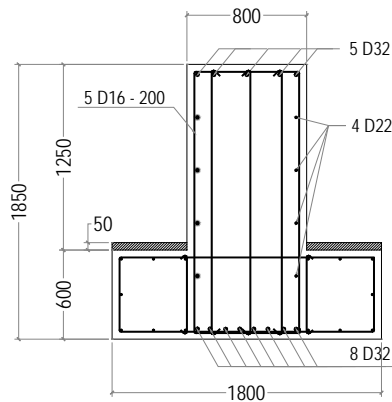
$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{1005,31}{3,99} = 251 \text{ mm} \approx \text{Dipasang } 200 \text{ mm}$$

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \text{ } \varnothing \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 16 = 384 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1738 / 2 = 869 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 5D16-200 mm

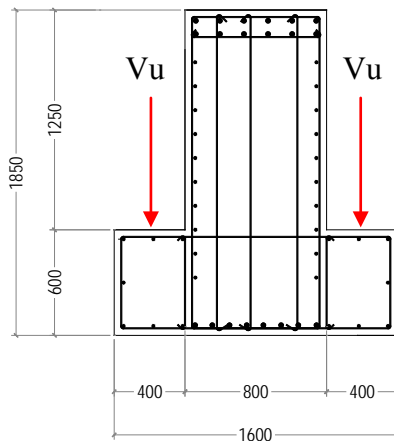


Gambar 6.16. Tulangan Lapangan balok Pier Head Switch

❖ Perencanaan Tulangan Konsol Balok Pier Head

Data Perencanaan :

- Panjang (l) = 400 mm
- Tinggi (h) = 600 mm
- Lebar (b) = 2000 mm
- d = 520 mm
- Diameter tul. Lentur = D19 mm
- Diameter tul. Geser = Ø13 mm
- Mutu Beton (f'_c) = 50 Mpa
- Mutu Baja (f_y) = 400 Mpa
- β_1 = 0,69
- ρ_b = 0,044
- $\rho_{min} = 0,04 \times \frac{f'_c}{f_y} = 0,005$
- $\rho_{max} = 0,033$
- Krc = 0,6



Gambar 6.17. Penampang Balok

Tabel 6.2. Gaya – gaya yang Bekerja pada konsol :

Gaya Yang Bekerja (Ton)		1.3DL + 1,8LL (P Buggy 2)		
		Vu (Ton)	Lengan(m)	Mu(Tonm)
gaya yang masuk pada konsol lebar 40 cm	0,400	90,000	0,200	18
		90,000		18

Perhitungan Tulangan Lentur

Akibat momen sebesar = 18 ton.m

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{18}{0.8}$$

$$= 22,5 \text{ ton.m} = 22,5 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 50}$$

$$= 9,41$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{22,5 \times 10^7}{2000 \times 520^2}$$

$$= 0,52$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= 0,0014 < \rho_{\min} \dots\dots \text{dipakai } \rho_{\min} = 0,005$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 5200 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang D19-100

$$A_s \text{ pasang} = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \right) \times \left(\frac{b}{\text{jarak}} \right) = 5667,7 \text{ mm}^2$$

Jadi dipasang tulangan lentur D19-100.

Perhitungan Tulangan Pembagi

Ast = 20% Tulangan Utama (mm ²)	Xperlu (mm)	As Pasang (mm ²)	Xpasang (mm)	Tulangan Pasang
1133,54	234,072	1326,650	200	D13-200

Dipasang Tulangan Pembagi Ø13-200Kontrol Geser :

$$V_{uc} = \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \times b_v \times d_0 \left(\frac{A_{st} \times f'_c}{b_v \times d_0} \right)^{1/3}$$

$$\beta_1 = 1,4 - (d_0/2000) \geq 1,1$$

$$= 1,14$$

$$\beta_2 = 1$$

$$\beta_3 = 1$$

$$V_{uc} = 1,14 \times 1 \times 1 \times 2000 \times 520 \left(\frac{5667,7 \times 50}{2000 \times 520} \right)^{1/3}$$

$$= 768633,6 \text{ N}$$

$$V_s = V_u - 0,6 V_c$$

$$= 900000 - 0,6 \times 768633,6 = 43874 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,6 \times \frac{1}{6} \sqrt{50} \times 2000 \times 520$$

$$= 735391,05 \text{ N}$$

$$V_s = V_u - 0,6 V_c$$

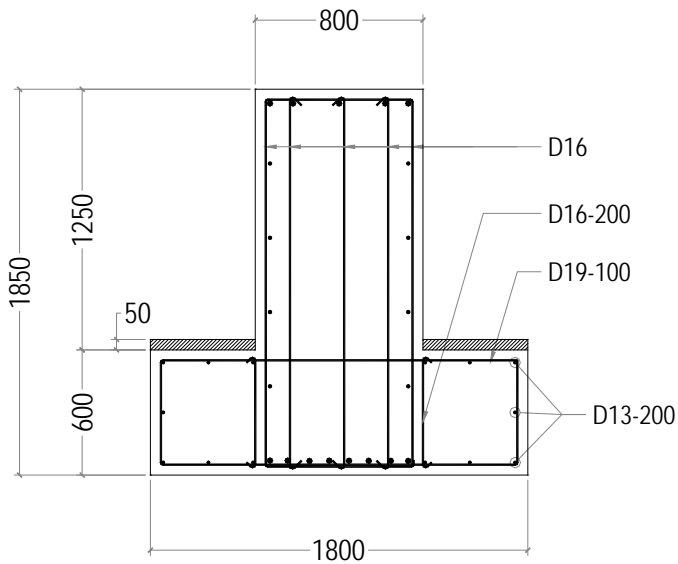
$$= 164608,95 \text{ N}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$\phi V_s = \frac{0,6 * A_v * f_y * d}{s} = \frac{0,6 * 402,12 * 400 * 520}{200} = 250922 \text{ N}$$

$$V_s < \phi V_s$$

$$164608,95 \text{ N} < 250922 \text{ N} \dots\dots \text{OK}$$

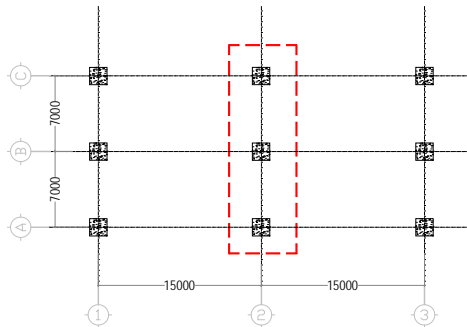


Gambar 6.18. Tulangan Konsol

6.6.2. Perencanaan Kolom Switch 3 in 1

Pada perencanaan Tugas Akhir ini, kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom tengah. Data perencanaan kolom tersebut adalah sebagai berikut:

- Mutu Beton : K-600 (f'_c 50 Mpa)
- Mutu Baja : 400 Mpa
- Dimensi kolom : 160/160 cm
- Tinggi Kolom (h) : 6,2 m
- Tebal *decking* : 70 mm
- Diameter Tulangan Utama : 32 mm
- Diameter Sengkang : 16 mm
- $d = h - \text{decking} - \phi(\text{sengkang}) - 0,5D(\text{utama})$
 $= 1600 - 70 - 16 - 0,5 \times 32 = 1498 \text{ mm}$



Gambar 6.19. Denah Kolom

Dengan menggunakan bantuan SAP2000 diperoleh besarnya gaya pada kolom atas adalah sebagai berikut:

- a) Gaya Aksial dominan (comb 8U=1,3DL + γ_{EQ} 1,8Live (P Buggie₁) + EQx + 0,3EQy
- | | | |
|----|---|--------------|
| Pu | : | -4959,788 KN |
| Mx | : | -3506,23 KNm |
| My | : | 274 KNm |
| Vu | : | 1197,484 KN |

- b) Gaya Momen dominan (comb 7U=1,3DL + γ_{EQ} 1,8Live (P Buggy₁) + EQx + 0,3EQy

Pu	:	-2956,979	KN
Mx	:	6101,95	KNm
My	:	1008,18	KNm
Vu	:	153,764	KN

6.6.2.1 Perhitungan Tulangan Memanjang Kolom

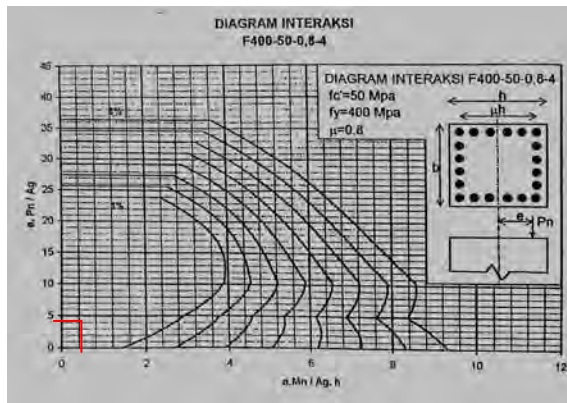
- Perhitungan tulangan menggunakan diagram interaksi
- ✓ Gaya Aksial Dominan

Pu	:	-4959788	N
Mx	:	-3506,23 x 10 ⁶	Nmm
My	:	274 x 10 ⁶	Nmm
Vu	:	1197484	N

$$\frac{P_n}{\phi A_g} = \frac{4959788}{0,7 \times 1600 \times 1600} = 2,77$$

$$\frac{M_n}{\phi A_g \cdot h} = \frac{1179,76 \times 10^6}{0,7 \times (1600 \times 1600) \times 6200} = 0,315$$

Asumsi $\gamma = 0.8$



Gambar 6.20. Grafik Alignment Kolom

Dari grafik diagram interaksi, didapat $\rho = 0,01 \%$
(syarat $\rho = 1\%$ s/d 6%).

$$A_s = \rho \cdot A_g = 0.01 \times 1600 \times 1600 = 25600 \text{ mm}^2.$$

Jadi dipasang tulangan **36D32** ($A_s \text{ pasang} = 28952,9 \text{ mm}^2$)

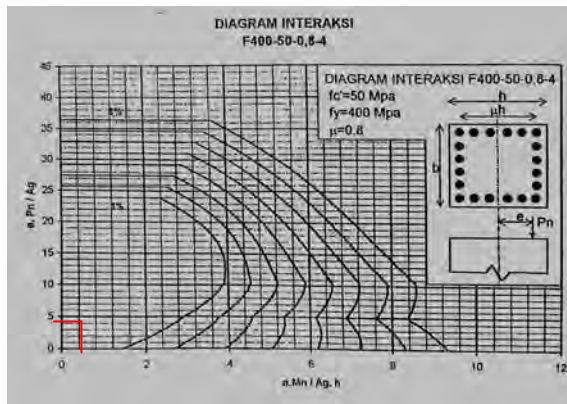
✓ Gaya Momen Dominan

P_u	:	2956979	N
M_x	:	$6101,95 \times 10^6$	Nmm
M_y	:	$1008,18 \times 10^6$	Nmm
V_u	:	153764	N

$$\frac{P_n}{\phi A_g} = \frac{2956979}{0,7 \times 1600 \times 1600} = 1,65$$

$$\frac{M_n}{\phi A_g \cdot h} = \frac{6101,95 \times 10^6}{0,7 \times (1600 \times 1600) \times 6200} = 0,55$$

Asumsi $\gamma = 0.8$



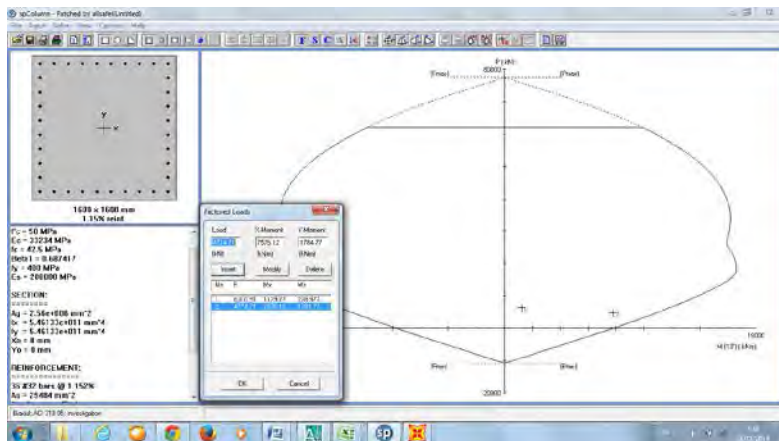
Gambar 6.21. Grafik Alignment Kolom

Dari grafik diagram interaksi, didapat $\rho = 0,01 \%$
(syarat $\rho = 1\%$ s/d 6%).

$$A_s = \rho \cdot A_g = 0.01 \times 1600 \times 1600 = 25600 \text{ mm}^2.$$

Jadi dipasang tulangan **36D32** ($A_s \text{ pasang} = 28952,9 \text{ mm}^2$)

- Cek menggunakan Program SP Column.



Gambar 6.22. Grafik Alignment Kolom

Kolom yang direncanakan diberi tulangan 36 D32 atau 1,15 % dengan menggunakan *software* *spColumn*. Prosentase kolom ini sesuai syarat *SNI 03-2847-2002 Ps. 13.4.2.2* yaitu antara 1% - 6% telah terpenuhi. Beban-beban yang terjadi berada di dalam kurva yang menandakan kolom tersebut mampu menahan gaya yang terjadi.

- Cek Jarak antar Tulangan :

Pada sisi $b = 1600 \text{ mm}$, dipasang 10D32 dengan 1 lapis.

$$S = \frac{1600 - (2 \times 70) - (2 \times 16) - (10 \times 32)}{9}$$

$$= 123,11 \text{ mm} > 40 \text{ mm (OK)}$$

6.6.2.2 Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Data perencanaan :

Tinggi kolom	:	6200	mm
Dimensi Kolom	b	1600	mm
	h	1600	mm
cover	:	70	mm
	d	1501	mm
Mutu beton	:	30	Mpa
Mutu baja	:	400	Mpa ($D \geq \emptyset 13$)
	:	240	Mpa ($D \leq \emptyset 13$)
\emptyset tul memanjang	:	D 32	mm
\emptyset tul sengkang	:	$\emptyset 13$	mm
Faktor reduksi (\emptyset)	:	0,75	

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.3*, Gaya geser rencana (V_e) pada komponen struktur tidak boleh kurang dari:

- Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.

$$V_e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n}$$

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:				
No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	fMnx kNm
1	1234.00	2222.00	444.00	8405.91
2	2433.00	5566.00	556.00	9282.41

Gambar 6.23. Momen Nominal Kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} = \frac{9282,4 + 9282,4}{6,2} = 2994,322 \text{ KN}$$

$$= 2994322 \text{ N}$$

$$V_c = \left[1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \left[\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] \times b_w \times d$$

$$V_c = \left[1 + \frac{4959788}{14 \times 1600 \times 1600} \right] \left[\frac{\sqrt{50}}{6} \right] \times 1600 \times 1501$$

$$= 3221991,07 \text{ N}$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} * b_w * d$$

$$= \frac{1}{3} * 1600 * 1501 = 800533,3 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d = 5.660.625 \text{ N}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

1. $V_u \leq 0,5 \phi V_c$
 $2994322 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 3221991,07$
 $2994322 \text{ N} > 1208246,65 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
 $1208246,65 \text{ N} < 2994322 \text{ N} < 0,75 \times 3221991,07$
 $2994322 \text{ N} > 2416493,3 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$
 $2416493,3 \text{ N} < V_u \leq 0,75 (4022524,37)$
 $2994322 \text{ N} < 3016893,28 \text{ N}$ (memenuhi)

Direncanakan sengkang 2 kaki diameter 13 mm.

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

Sehingga jarak antar sengkang ,

$$S = \frac{A_v \cdot 3f_y}{b_w} = \frac{265,46 \cdot 400 \cdot 1501}{1600} = 199 \text{ mm}$$

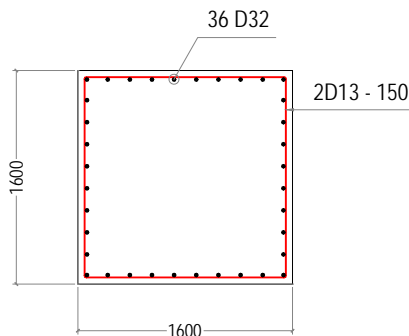
\approx Dipasang 150 mm

Kontrol spasi sengkang tumpuan

Spasi maksimum sengkang di muka kolom harus memenuhi:

- $S \leq d/4 = 1501 / 4 = 375,25 \text{ mm}$
- $S \leq 8 \times \text{Diameter tul.utama}$
 $\leq 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$
- $S \leq 24 \varnothing \text{ sengkang}$
 $\leq 24 \times 13 = 312 \text{ mm}$
- $S \leq 300 \text{ mm}$
- $S \leq d/2 = 1501 / 2 = 750,5 \text{ mm}$

Jadi dipakai sengkang 2D13-150 mm



Gambar 6.24. Tulangan Kolom

BAB VII

PERENCANAAN PONDASI

7.1 Pendahuluan

Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah.

Pondasi menggunakan Tiang pancang dan metode pemancangan tiang akan dilakukan pre-boring terlebih dahulu memakai metode “Inner Boring System”. sebelum tiang ditekan bertahap masuk kedalam tanah. Pre-boring itu sendiri akan dilaksanakan hingga ujung bawah tiang mencapai elevasi kedalaman rencana. Metode ini dipilih untuk menghindari efek getar akibat pemancangan tiang yang memakai spun pile berdiameter besar.

Tiang pancang yang dipakai pada proyek akhir ini adalah tiang pancang produksi dari adhi Beton dengan spesifikasi tiang sebagai berikut :

- Diameter : 1000 mm (tipe C)
- Tebal : 140 mm
- Berat tiang : 946 kg/m
- Keliling tiang pancang ($kell_{tp}$) : $\pi \times D$
: $\pi \times 100 = 314,16 \text{ cm}$
- Luas tiang pancang (A_{tp}) : $0,25 \times \pi \times D^2$
: $7853,98 \text{ cm}^2$
- Mutu : K-600 Mpa
- Allowable axial : 550,28 ton
- Bending Momen crack : 125,00 ton-m
- Bending Momen ultimate : 256,44 ton-m

adhi beton

Product Specification

NO	Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length L (m)	Bending Load (ton.m)	Moment ultimate (ton.m)	Allowable Axial Load (ton)
1	300	60	A2 A3 B C	452	113	6-13	2,5 3 3,5 4	3,75 4,5 6,3 8	72,6 70,75 67,5 65,4
2	350	65	A1 A3 B C	582	145	6-15	3,5 4,2 5 6	5,25 6,3 9 12	93,1 89,9 86,4 85
3	400	75	A2 A3 B C	766	191	6-16	5,5 6,5 7,5 9	8,25 9,75 13,5 18	121,1 117,6 114,4 111,5
4	450	80	A1 A2 A3 B C	930	232	6-16	7,5 8,5 10 11 12,5	11,25 12,75 15 19,8 25	149,5 145,8 143,8 139,1 134,9
5	500	90	A1 A2 A3 B C	1159	290	6-16	10,5 12,5 14 15 17	15,75 18,75 21 27 34	185,3 181,7 178,2 174,9 169
6	600	100	A1 A2 A3 B C	1571	393	6-18	17 19 22 25 29	25,5 28,5 33 45 58	252,7 240 243,2 238,3 229,5
7	800	120	A1 A2 A3 B C	2564	641	6-18	40,13 46,56 52,11 60,51 70,52	60,2 69,84 78,16 108,92 141,04	409,17 400,12 390,58 384,35 369,65
8	1000	140	A1 A2 A3 B C	3782	946	6-20	74,26 85,05 95,37 112,38 125,0	111,39 127,57 143,06 202,28 256,44	605,28 593,49 579,51 568,78 550,28

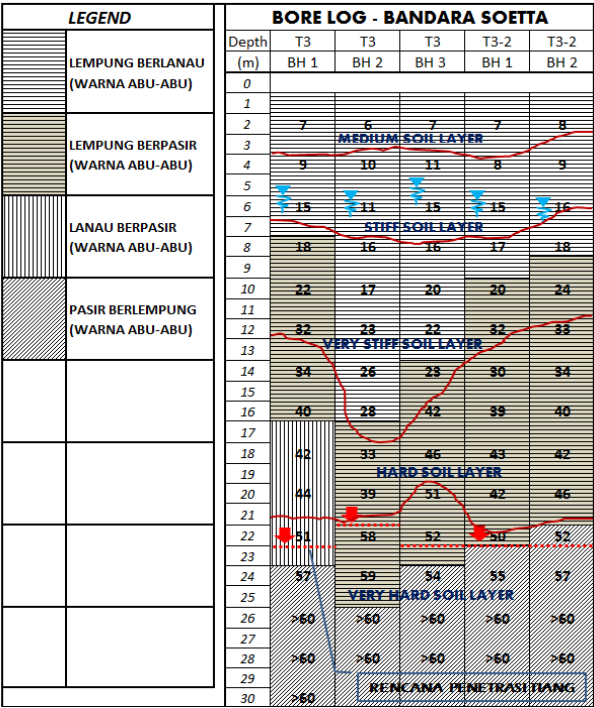
Gambar 7.1. Potongan Pilar Switch

7.2 Analisa Data Tanah

Gambaran lapisan tanah asli (Original Soil Layer) di lokasi monorail, diperoleh dari hasil Soil Investigation yang berupa data Bore Log sampai kedalaman 30 meter yang terdiri dari : Bore Hole BH2-Terminal (lihat, Gambar 7.2). Dari data bore log tercantum jenis tanah per-layer dan besaran angka N-SPT per 2,0 meter kedalaman.

LOG BOR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
PROYEK	Perluasan Terminal 3 Bandara Soekarno Hatta				JENIS BANGUNAN Pondasi Bangunan				LOKASI Terminal 1		NO. BOR BH - 2		SKALA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Tgl. Mulai	: 27 - 06 - 2013				Mesin Pompa	: Sanchin				Kemiringan		: Vertikal																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Tgl. Selesai	: 2 - 07 - 2013				Juru Bor	: Sulaeman				Tgl. Pemotretan		: :																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Mesin Bor	: Tora TAS				Metoda	: Putaran				Pemerian Oleh		: Contoh Disimpan di Bvasi																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
TANGKAL	INTI YANG				AIR				PEMERIAN				HASIL PENGULAN LAPANGAN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	TERAMBIL				PEMBILAS				S P T				GRAFIK SPT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	PANJANG (M)				Y G KELUAR				J U M L A H				T U M B U K A N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	GRAFIK				M A K A R T T A N A H (M)				N-1				N-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	P W B (K G D) %				S I M E D O T T A N A H / B A T U A N				N-3				N-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	W A R N A				[%]				10				20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
0.00	UDS	UDS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

Gambar 7.2. Data Bore Log- BH2



Gambar 7.3. Gambar Lapisan Konsistensi Tanah

Dari Gambar 7.3. di atas terlihat susunan lapisan kepadatan tanah sampai dengan kedalaman 30 meter berdasarkan batasan nilai konsistensi tanah, mulai dari kepadatan sedang (Medium Soil Layer) sampai dengan sangat padat (Very Hard Soil Layer). Rencana panjang penetrasi ujung tiang sampai dengan lapis pendukung untuk konsumsi perhitungan daya dukung ujung tiang (Point Bearing) dapat ditentukan. Ujung bawah tiang direncanakan berada di kedalaman antara -23.0 meter sampai dengan -24.0 meter dari muka tanah, maka panjang total tiang diambil $L(tot) = 24,0$ meter mengingat dasar “Pile Cap” direncanakan berada di kedalaman -2,0 meter dari MTA (Muka Tanah Asli).

7.3 Perhitungan Daya Dukung Tanah (P_{ijin})

Perencanaan Daya dukung ijin tiang pancang dihitung berdasarkan data SPT (standart penetration test), dan metode yang digunakan dalam perhitungan daya dukung diambil berdasarkan pada buku “Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi”, judul asli “Soil Mechanics And Foundation Engineering” – 1990, oleh KAZUTO – SUYONO SOSRODARSONO.

Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang, dan besarnya daya dukung yang diizinkan R_a diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$R_a = \frac{1}{n} R_u - W_p = \frac{1}{n} (R_p + R_f) - W_p$$

Dimana,

- n = faktor keamanan biasanya
 - R_u = daya dukung ultimate pada tanah pondasi (ton)
 - R_p = daya dukung terpusat tiang (ton)
 - R_f = gaya geser dinding tiang (ton)
 - W_p = Berat Tiang per titik
- Atau,

$$R_a = \frac{1}{n} R_u - W_p$$

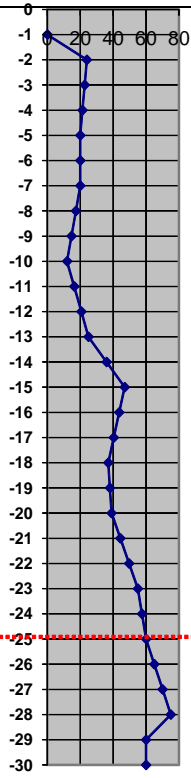
$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum f_i - W_p$$

Dimana,

- q_d = daya dukung terpusat tiang (ton)
- A = luas ujung tiang (m^2)
- U = panjang keliling tiang
= tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang
- f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (t/m^2)
- W_p = Berat Tiang per titik

Daya dukung terpusat q_d diperoleh dari hubungan antara L/D , dan L adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan pendukung. Dari data SPT, didapat nilai N yang ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 7.1. Data Bor Log Tanah

Depth (m)	Jenis Tanah	N rata2	Grafik SPT	fi (t/m2)	li*tebal (t/m)
0	Clay - Stiff	0		0	0
-1	Clay - Stiff	0		0	0
-2	Clay - Very Stiff	24		12	12
-3	Sand	22.67		4.53	4.53
-4	Sand	21.33		4.27	4.27
-5	Clay - Very Stiff	20		10	10
-6	Sand	20		10	10
-7	Clay - Very Stiff	20		10	10
-8	Clay - Very Stiff	17.33		8.67	8.67
-9	Clay - Stiff Soil	14.67		7.33	7.33
-10	Sand	12		2.4	2.4
-11	Sand	16.33		3.27	3.27
-12	Clay - Very Stiff	20.67		10.33	10.33
-13	Clay - Very Stiff	25		12	12
-14	Clay - Hard Soil	36		12	12
-15	Sand	47		9.4	9.4
-16	Sand	43.67		8.73	8.73
-17	Clay - Hard Soil	40.33		12	12
-18	Sand	37		7.4	7.4
-19	Clay - Hard Soil	38		12	12
-20	Sand	39		7.8	7.8
-21	Sand	44.33		8.87	8.87
-22	Sand	49.67		9.93	9.93
-23	Clay - Hard Soil	55		12	12
-24	Clay - Hard Soil	57.5		12	12
-25	Clay - Hard Soil	60		12	12
-26	Gravel	65		10	10
-27	Gravel	70		10	10
-28	Gravel	75		10	10
-29	Gravel	60		10	10
-30	Gravel	60		10	10
-31					

7.3.1 Menghitung Gaya Aksial Pondasi Tiang :

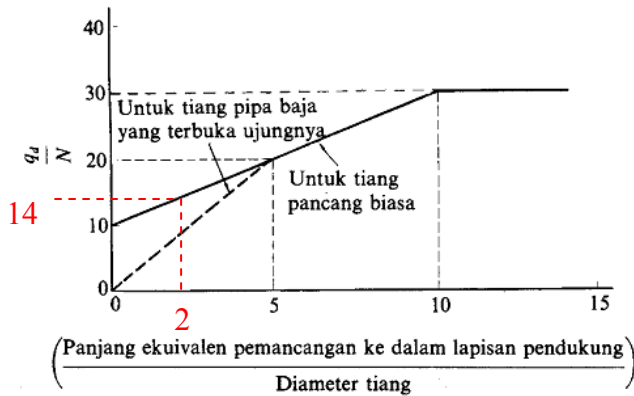
a) Daya Dukung Terpusat Tiang (R_p)

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_p^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$L = 2 \text{ m}$$

(panjang penetrasi tiang sampai ke lapisan pendukung)

$D = 1 \text{ m}$ (diameter ujung tiang)



Gambar 7.4. Gambar Lapisan Konsistensi Tanah

$L/D = 2 \Rightarrow$ dari gambar 7.4 maka didapat $q_d/N = 14$

Mencari panjang ekuivalen dari penetrasi tiang :

- 1) Harga N pada ujung tiang $N_1 = 60$
- 2) Harga N rata-rata pada jarak $4D$ dari ujung tiang
 $N_2 = (60+58+55+50)/4 = 56$
- 3) $N = (N_1 + N_2)/2 = 57,88$
- 4) $q_d = 14N = 14 \times 58 = 810,25 \text{ Ton}$
 $R_p = q_d \cdot A = 636,36 \text{ ton}$

b) Gaya Geser maksimum Dinding Tiang (R_f)

Mencari nilai $\sum l_i f_i$:

Dari data bor log pada tabel 7.1 maka didapat $\sum l_i f_i$ sebesar :

$$\sum l_i f_i = 161 \text{ Ton/m}$$

$$R_f = U_p \times \Sigma (l_i \times f_i) = 505,79 \text{ ton}$$

c) Daya Dukung Ultimate Tiang (R_u)

$$R_u = R_p + R_f = 1142,16 \text{ ton}$$

d) Daya Dukung Ijin Tiang (R_a)

$$R_a = (R_u / SF) - W_p$$

$$SF = 3 \text{ (Safety Factor)}$$

$$L \text{ Total} = 24 \text{ m (Panjang Tiang)}$$

$$W_t = 0,946 \text{ ton/m (berat tiang/m)}$$

$$\begin{aligned} W_p &= L \text{ total} \times W_t \\ &= 22,704 \text{ ton/tiang (berat per-titik tiang)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R_a} &= (\mathbf{R_u / SF}) - \mathbf{W_p} \\ &= \mathbf{359 \text{ ton/tiang}} \end{aligned}$$

7.3.2 Menghitung Daya Dukung Horizontal Pondasi Tiang :

a) Ketentuan :

- 1) Ujung atas tiang tenggelam di tanah (h) = 0 m
- 2) Nilai N-SPT pada muka tanah dasar basement, diambil nilai N-SPT min = 24
- 3) Diameter tiang, diperhitungkan = 100 cm
- 4) Mutu Beton K-600, maka $f'_c = 50 \text{ MPa}$

- 5) Modulus Elastisitas Beton
 $(E) = 4700 \sqrt{f'_c} = 331674,84 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Momen Inersia Tiang
 $(I) = \pi/64 D^4 = 3589571,2 \text{ cm}^4$

b) Koefisien Reaksi Tanah Dasar (k)

$$N = 24 \text{ (N-SPT min)}$$

$$E_o = 28 \times N = 672 \text{ (Modulus Elastisitas Tanah)}$$

$$y = 0,75 \text{ cm (deformasi horisontal ijin)}$$

$$D = 100 \text{ cm}$$

$$k = 0,2 \times E_o \times D^{-0,75} \times y^{-0,5}$$

$$= 4,908 \text{ kg/cm}^3$$

c) Virtual fixity Point (l_m)

$$\beta = (k.D/(4.E.I))^{0,25} = 0,0032 \text{ cm}^{-1} \text{ (nilai karakteristik tiang)}$$

$$l_m = \pi/2\beta = 494 \text{ cm} = 4,94 \text{ m}$$

d) Daya Dukung Gaya Horizontal Tiang Tegak (H_a).
 Untuk Pergeseran sebesar “Y”.

$$H_a = (k.D.y)/\beta = 115,522 \text{ ton/tiang}$$

$$\text{Digunakan SF} = 3$$

$$\text{jadi, } H_a \text{ untuk beban tetap} = H_a/\text{SF} = \mathbf{38,51 \text{ ton/tiang}}$$

e) Momen Lentur pada Posisi Virtual Fixity Point (M_a)

Berdasarkan kekuatan tanah untuk beban tetap :

$$M_a = H_a / 2\beta = \mathbf{60,44 \text{ ton-m/tiang}}$$

7.3.3 Kapasitas Cabut Tiang (RC) :

$$R_f = 505,79 \text{ ton}$$

$$SF = 3$$

$$W_p = 22,704 \text{ ton/tiang (berat per-titik tiang)}$$

$$RC = (R_f/SF) + W_p = 240 \text{ ton/tiang}$$

jadi, kapasitas cabut ijin tiang (RC) = 240 ton/tiang

7.3.4 Rekapitulasi Daya Dukung Tanah Pondasi Tiang

Untuk daya dukung pada saat beban sementara bekerja, digunakan faktor pengali (1,5) pada semua daya dukung tiang.

Tabel 7.2. Rekapitulasi Daya Dukung Tanah Pondasi

No	Gaya	Daya Dukung Tanah	
		Beban	Beban
		Tetap	Sementara
		Ton/Tiang	Ton/Tiang
1	Aksial Tekan	359	538,5
2	Aksial cabut	240	360
3	Horizontal	38,51	57,765

7.3.5 Menghitung Nilai Joint Spring Pada Pondasi Tiang

Perhitungan joint Spring tanah digunakan untuk memodelkan lekatan tanah pada tiang agar perilaku tiang pada SAP mendekati kenyataan. Joint Spring di hitung tiap kedalaman 1 m.

$$\text{Diameter} : 100 \text{ cm}$$

$$\text{Luas tiang pancang (Atp)} : 7853,98 \text{ cm}^2$$

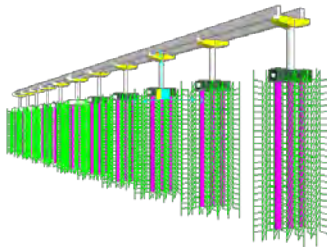
$$E = 4700 \sqrt{f^2 c} = 331674,84 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \pi/64 D^4 = 3589571,2 \text{ cm}^4$$

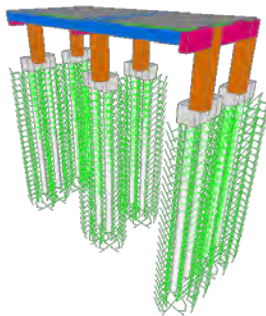
Tabel 7.3. Tabel Perhitungan Joint Spring

Perhitungan Joint Spring Pada Pile								
Kedalaman	Nilai SPT	Eo	Ko	K	SF	β	K	K
(m)		(28 N)	$(0.2 E_o D^4 (-0.75))$	$(k_o Y^4 (-0.5))$		$((k^* D) / (4^* E^* I))^{0.25}$	$(4^* E^* I^* B^3)$	k/10
			kg/cm ³	kg/cm ³		cm-1	kg/cm	t/m
0	0	0	0	0	2	0	0	0
-1	24	672	4,250101175	4,907594115	2	0,003186129	77014,9885	7701,4989
-2	24	672	4,250101175	4,907594115	2	0,003186129	77014,9885	7701,4989
-3	22,67	634,6667	4,013984443	4,634949998	2	0,003140924	73783,2137	7378,3214
-4	21,33	597,3333	3,77867711	4,36230588	2	0,003093679	70503,5302	7050,353
-5	20	560	3,541750979	4,089661763	2	0,003044164	67172,1611	6717,2161
-6	20	560	3,541750979	4,089661763	2	0,003044164	67172,1611	6717,2161
-7	20	560	3,541750979	4,089661763	2	0,003044164	67172,1611	6717,2161
-8	17,33	485,3333	3,069517515	3,544373528	2	0,002937184	60336,2605	6033,6261
-9	14,67	410,6667	2,597284052	2,999085293	2	0,002817043	53231,0938	5323,1094
-10	12	336	2,125050588	2,453797058	2	0,002679205	45793,3862	4579,3386
-11	16,33	457,3333	2,892429967	3,33989044	2	0,002893872	57706,2611	5770,6262
-12	20,67	578,6667	3,659809345	4,225983821	2	0,003069221	68844,5634	6884,4563
-13	25	700	4,427188724	5,112077203	2	0,003218812	79409,3845	7940,9385
-14	36	1008	6,375151763	7,361391173	2	0,003526032	104386,347	10438,635
-15	47	1316	8,323114802	9,610705142	2	0,003769077	127494,138	12749,414
-16	43,67	1222,667	7,732822972	8,929094849	2	0,003700395	120650,564	12065,056
-17	40,33	1129,333	7,142531142	8,247484555	2	0,00362766	113674,985	11367,499
-18	37	1036	6,552239312	7,565874261	2	0,003550267	106553,597	10655,36
-19	38	1064	6,729326861	7,770357349	2	0,003574016	108706,252	10870,625
-20	39	1092	6,90641441	7,974840437	2	0,003597301	110844,789	11084,479
-21	44,33	1241,333	7,850881338	9,065416907	2	0,003714439	122029,439	12202,944
-22	49,67	1390,667	8,795348265	10,15599338	2	0,003821438	132881,825	13288,183
-23	55	1540	9,739815193	11,24656985	2	0,003920137	143446,132	14344,613
-24	57,5	1610	10,18253407	11,75777757	2	0,003963944	148309,069	14830,907
-25	60	1680	10,62525294	12,26898529	2	0,004006345	153119,415	15311,942
-26	65	1820	11,51069068	13,29140073	2	0,004087323	162592,959	16259,3
-27	70	1960	12,39612843	14,31381617	2	0,004163754	171885,9	17188,594
-28	75	2100	13,28156617	15,33623161	2	0,004236194	181014,253	18101,425
-29	60	1680	10,62525294	12,26898529	2	0,004006345	153119,415	15311,942
-30	60	1680	10,62525294	12,26898529	2	0,004006345	153119,415	15311,942

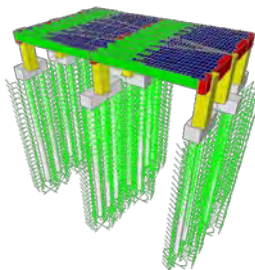
Nilai k pada kotak warna merah adalah nilai joint spring yang akan diinputkan ke dalam pondasi tiang, bisa dilihat pada gambar 7.5, gambar 7.6 dan gambar 7.7 :



Gambar 7.5. Permodelan Joint Spring pada Track Monorel



Gambar 7.6. Permodelan Joint Spring pada Switch 3 in 1



Gambar 7.7. Permodelan Joint Spring pada Switch 5 in 1

7.3.6 Perhitungan Reaksi Tiang dan Konfigurasi Tiang

Setelah melakukan perhitungan pembebanan serta perhitungan struktur atas selanjutnya akan di hitung reaksi dari beban mati struktur serta beban hidup untuk mencari jumlah kebutuhan pondasi tiang dari Struktur monorel dan Switch .

7.3.6.1 Pondasi Monorel

Output SAP berdasarkan material list 2 – by section property didapat berat struktur bangunan untuk satu bentang sebesar :

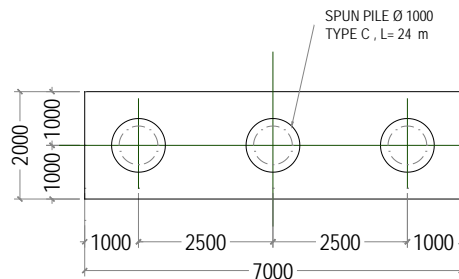
$$P \text{ Berat Sendiri} = 400 \text{ Ton}$$

$$P \text{ beban Hidup Kereta} = 135 \text{ Ton}$$

$$\sum P = 535 \text{ ton}$$

$$n_{\text{rencana}} = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{535 \text{ ton}}{359} = 1,5$$

❖ Direncanakan menggunakan 3 buah Spun Pile Ø100 cm



Gambar 7.8. Konfigurasi Tiang Monorel

Resume reaksi tiang pancang dari hasil analisa perhitungan SAP 2000 dengan kombinasi beban tetap maupun beban sementara akan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 7.4. Tabel Reaksi Kombinasi Pembebanan monorel

Jenis Kombinasi Beban	Reaksi pada Tiang		
	P tekan	P cabut	M Crack
	(T)	(T)	(T.m)
Beban Tetap			
1. 1DL + Kereta 1	227	0	13
2. 1DL + Kereta 2	227	0	
3. 1DL + Kereta 1 + Kereta 2	247	0	
Beban Sementara			
1. 1DL + Kereta + 1WL	235	5	20
2. 1DL + 1Qx + 0,3Qy	402	80	48
3. 1DL + 0,3Qx + 1Qy	411	75	60
4. 1DL + Kereta 1 + 1Qx + 0,3Qy	450	85	47
5. 1DL + Kereta 1 + 0,3Qx + 1Qy	440	77	80
6. 1DL + Kereta 2 + 1Qx + 0,3Qy	440	77	80
7. 1DL + Kereta 2 + 0,3Qx + 1Qy	500	67	70
8. 1DL + Kereta 1 + Kereta 2 + 1Qx + 0,3Qy	470	80	50
9. 1DL + Kereta 1 + Kereta 2 + 0,3Qx + 1Qy	320	80	120

Dari tabel di atas terlihat reaksi maksimum tiang yang terjadi adalah sebagai berikut :

- Beban Tetap :
 - ✓ P tekan : 247 ton
 - ✓ P Cabut : 0
 - ✓ M Crack : 13 Ton.m
- Beban Sementara :
 - ✓ P tekan : 500 Ton
 - ✓ P Cabut : 85 Ton
 - ✓ M Crack : 120 Ton.m

Tabel 7.5. Resume Tiang Pancang monorel

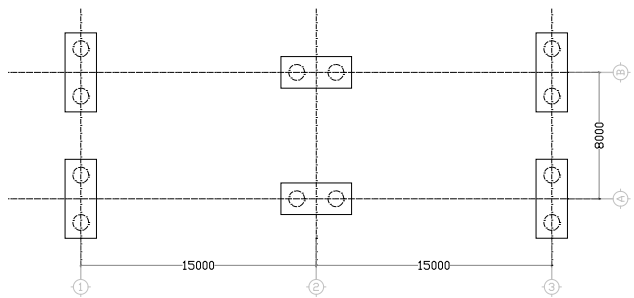
Keterangan	Reaksi		Daya Dukung		Daya Dukung	CEK
	yg terjadi		Tanah		Bahan	
Beban Tetap						
> P Tekan	247	<	359	<	550,28	OK
> P Cabut	0		240			OK
> M Crack	13		<		125	OK
Beban Sementara						
> P Tekan	500	<	538,5		550,28	OK
> P Cabut	85	<	360			OK
> M Crack	120		<		125	OK

7.3.6.2 Pondasi Switch 3 in 1

Output SAP berdasarkan material list 2 – by section property didapat berat struktur bangunan yang masuk pada satu kolom sebesar :

P Berat Sendiri = 450 Ton
P beban Hidup Kereta = 100 Ton
 $\sum P = 600 \text{ ton}$
$$n_{rencana} = \frac{\sum P}{P_{ijin \text{ tanah}}} = \frac{600 \text{ ton}}{359} = 1,67$$

❖ Direncanakan menggunakan 2 buah Spun Pile Ø100 cm



Gambar 7.9. Konfigurasi Tiang Switch 3 in 1

Resume reaksi tiang pancang dari hasil analisa perhitungan SAP 2000 dengan kombinasi beban tetap maupun beban sementara akan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 7.6. Tabel Reaksi Kombinasi Pembebanan Switch 3 in 1

Jenis Kombinasi Beban	Reaksi pada Tiang		
	P tekan	P cabut	M Crack
	(T)	(T)	(T.m)

Beban Tetap			
1. 1DL + Kereta 1	242	7	12
2. 1DL + Kereta 2	270	4	15
3. 1DL + Kereta 3	255	7	10
Beban Sementara			
1. 1DL + Kereta + 1WL	230	20	17
2. 1DL + 1Qx + 0,3Qy	400	130	63
3. 1DL + 0,3Qx + 1Qy	396	90	40
4. 1DL + Kereta 1 + 1Qx + 0,3Qy	410	100	61
5. 1DL + Kereta 1 + 0,3Qx + 1Qy	465	38	82
6. 1DL + Kereta 2 + 1Qx + 0,3Qy	440	135	65
7. 1DL + Kereta 2 + 0,3Qx + 1Qy	495	65	82
6. 1DL + Kereta 3 + 1Qx + 0,3Qy	422	118	68
7. 1DL + Kereta 3 + 0,3Qx + 1Qy	478	50	81

Dari tabel di atas terlihat reaksi maksimum tiang yang terjadi adalah sebagai berikut :

- **Beban Tetap :**
 - ✓ P tekan : 270 Ton
 - ✓ P Cabut : 7 Ton
 - ✓ M Crack : 15 Ton.m
- **Beban Sementara :**
 - ✓ P tekan : 495 Ton
 - ✓ P Cabut : 135 Ton
 - ✓ M Crack : 82 Ton.m

Tabel 7.7. Resume Tiang Pancang Switch 3 in 1

Keterangan	Reaksi		Daya Dukung		Daya Dukung	CEK
	yg terjadi		Tanah		Bahan	
Beban Tetap						
> P Tekan	270	<	359	<	550,28	OK
> P Cabut	7	<	240			OK
> M Crack	15		<		125	OK
Beban Sementara						
> P Tekan	495	<	538,5	<	550,28	OK
> P Cabut	135	<	360			OK
> M Crack	82		<		125	OK

7.3.6.3 Pondasi Switch 5 in 1

Output SAP berdasarkan material list 2 – by section property didapat berat struktur bangunan yang masuk pada satu kolom sebesar :

- Kolom Tepi :
 P Berat Sendiri = 400 Ton
 P beban Hidup Kereta = 100 Ton

$$\sum P = 500 \text{ ton}$$

$$n_{\text{rencana}} = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{500 \text{ ton}}{359} = 1,39$$

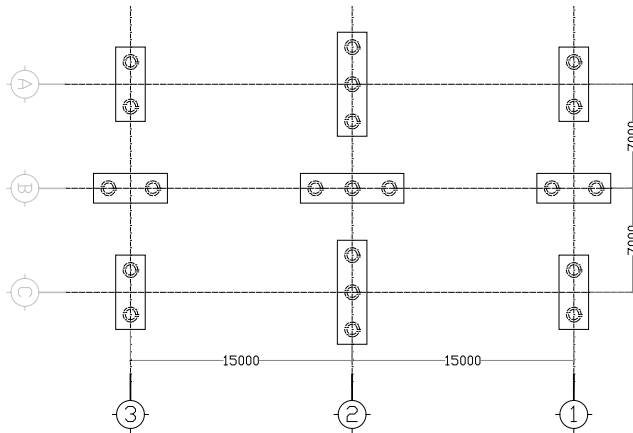
- ❖ Direncanakan menggunakan 2 buah Spun Pile Ø100 cm

- Kolom Tengah :
 P Berat Sendiri = 450 Ton
 P beban Hidup Kereta = 250 Ton

$$\sum P = 700 \text{ ton}$$

$$n_{\text{rencana}} = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{700 \text{ ton}}{359} = 1,95$$

❖ Direncanakan menggunakan 3 buah Spun Pile Ø100 cm



Gambar 7.10. Konfigurasi Tiang Switch 5 in 1

Resume reaksi tiang pancang dari hasil analisa perhitungan SAP 2000 dengan kombinasi beban tetap maupun beban sementara akan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 7.8. Tabel Reaksi Kombinasi Pembebanan Switch 3 in 1

Jenis Kombinasi Beban	Reaksi pada Tiang		
	P tekan	P cabut	M Crack
	(T)	(T)	(T.m)
Beban Tetap			
1. 1DL + Kereta 1	175	0	15
2. 1DL + Kereta 2	180	0	15
3. 1DL + Kereta 3	182	0	17
4. 1DL + Kereta 4	187	0	17
5. 1DL + Kereta 5	195	0	17
Beban Sementara			
1. 1DL + Kereta + 1WL	205	20	20
2. 1DL + 1Qx + 0,3Qy	300	75	71
3. 1DL + 0,3Qx + 1Qy	297	60	80
4. 1DL + Kereta 1 + 1Qx + 0,3Qy	312	55	70
5. 1DL + Kereta 1 + 0,3Qx + 1Qy	340	63	92
6. 1DL + Kereta 2 + 1Qx + 0,3Qy	315	55	75
7. 1DL + Kereta 2 + 0,3Qx + 1Qy	340	55	93
6. 1DL + Kereta 3 + 1Qx + 0,3Qy	370	60	99
7. 1DL + Kereta 3 + 0,3Qx + 1Qy	350	56	115
8. 1DL + Kereta 4 + 1Qx + 0,3Qy	375	58	87
9. 1DL + Kereta 4 + 0,3Qx + 1Qy	380	68	121
10. 1DL + Kereta 5 + 1Qx + 0,3Qy	312	50	97
11. 1DL + Kereta 5 + 0,3Qx + 1Qy	350	60	70

Dari tabel di atas terlihat reaksi maksimum tiang yang terjadi adalah sebagai berikut :

- Beban Tetap :
 - ✓ P tekan : 195 Ton
 - ✓ P Cabut : 0
 - ✓ M Crack : 17 Ton.m
- Beban Sementara :
 - ✓ P tekan : 375 Ton
 - ✓ P Cabut : 75 Ton
 - ✓ M Crack : 115 Ton.m

Tabel 7.9. Resume Tiang Pancang monorel

Keterangan	Reaksi		Daya Dukung		Daya Dukung	CEK
	yg terjadi		Tanah		Bahan	
Beban Tetap						
> P Tekan	195	<	359	<	550,28	OK
> P Cabut	0		240			OK
> M Crack	17		<		125	OK
Beban Sementara						
> P Tekan	375	<	538,5	<	550,28	OK
> P Cabut	75	<	360			OK
> M Crack	115		<		125	OK

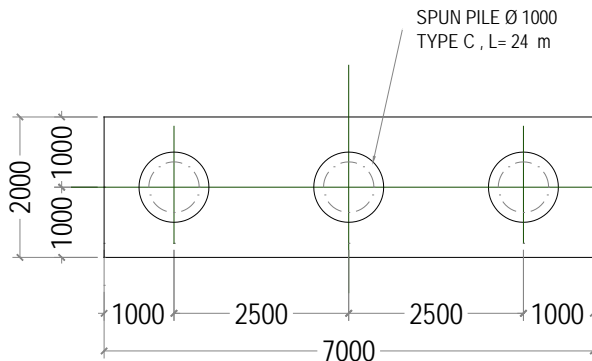
7.4 Perhitungan Tulangan Pile Cap

Pile Cap direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu Pile Cap harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

7.4.1 Pile Cap Monorel

Data rencana Pile Cap :

Σ tiang pancang tiap group	= 3
Dimensi kolom	= Spun Pile D1200 mm
Dimensi poer	= $7 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$
Mutu beton (f'_c)	= K – 400
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Diameter tulangan Utama	= D32 mm
Diameter tulangan Utama	= D16 mm
Selimut beton	= 70 mm
Tinggi efektif (d) :	
$d = 2000 - 70 - 16 - \frac{1}{2} * 32 = 1898 \text{ mm}$	



Gambar 7.11. Pile Cap Monorel

7.4.1.1 Kontrol Geser Pons

Dalam merencanakan poer harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada *SN/ 03-2847-2002 Pasal 13.12(2)*. Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_o \times d$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

$$b_o = \pi \times (D + d)$$

dimana : D = Diameter Kolom Spun Pile

d = tebal efektif poer

$$b_o = \pi \times (1200 + 1898) = 9732,65 \text{ mm}$$

Batas geser pons

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \cdot \left(1 + \frac{2}{1} \right) \cdot \frac{\sqrt{35}}{6} \times 9732,65 \times 1898 \\ &= 32785558,84 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \cdot 9732,65 \cdot 1898 \\ &= 21857039,23 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 5.284.468,3 \text{ N} < \phi V_c = 21.857.039,23 \text{ N}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat.

7.4.1.2 Perencanaan Lentur Pile Cap

Untuk penulangan lentur, Pile Cap dianalisa sebagai balok dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat (P) di tiang kolom yang berasal dari gaya perlawanan tanah (beban ijin terpusat dari tiang) dan beban berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dari output SAP 2000.

Gaya dalam output SAP :

- Momen ultimate pada Pile Cap : 8512660420 Nmm

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{8512660420}{0.8}$$

$$= 10640825525 \text{ N.mm}$$

$$\beta_1 = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 35 \times 0.8}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right]$$

$$= 0,0357$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3})$$

$$= 0,75 \times 0,0357$$

$$= 0,0268$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400}$$

$$= 0.0035$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 35}$$

$$= 13,45$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{10640825525}{2000 \times 1898^2} \\
 &= 1,48 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,48}{400}} \right) \\
 &= 0,0038
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, pakai ρ

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0038 \times 2000 \times 1898 \\
 &= 14382,16 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Tekan : -1533661135 Nmm

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Tul Tekan : } \frac{M_{\text{Tekan}}}{M_{\text{Tarik}}} &= \frac{1533661135}{8512660420} \\
 &= 0,18 \text{ dipasang } 0,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,5 \times 14382,16 \\
 &= 7191,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Perlu :

- Tulangan tarik pasang:
 $A_{s_{\text{perlu tarik}}} = 14382,16 \text{ mm}^2$
 Dipasang tulangan **20D32** ($A_{s_{\text{pasang}}} = 16085 \text{ mm}^2$)
- Tulangan tekan pasang:
 $A_{s'_{\text{perlu tekan}}} = 7191,08 \text{ mm}^2$
 Dipasang tulangan **10D32** ($A_{s'_{\text{pasang}}} = 8042 \text{ mm}^2$)

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{2000 - (2 \times 70) - (2 \times 16) - (20 \times 32)}{20 - 1} \\
 &= 62,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = 108,13 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 9016713336 \text{ Nmm}$$

$$= 9016713336 \text{ Nmm} > 8512660420 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

7.4.1.3 Perencanaan Geser Pile Cap

$$V_u = 5.089.940 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 2000 \cdot 1898 \\
 &= 3313793,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{S_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 2000 \cdot 1898 = 1120266,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

Kondisi 4

$$\phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d)$$

$$5.089.940 < V_u < 0,75(3313793,5 + \frac{1}{3} \sqrt{35} * 2000 * 1898)$$

$$5.089.940 \text{ N} < 7456035,351 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u}{0,75} - V_c = \frac{5.089.940 \text{ N}}{0,75} - 3313793,5 \text{ N} \\ &= 3472793,817 \text{ N} \end{aligned}$$

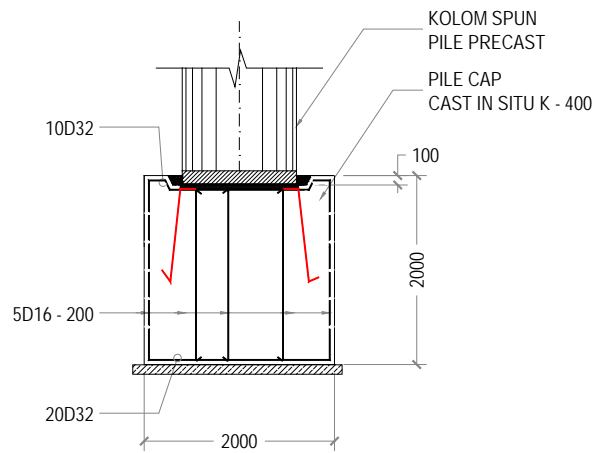
Direncanakan sengkang 5 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 1005,3 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan :

$$S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{1005,3 * 400 * 1898}{3472793,817} = 219,7 \text{ mm}$$

Sengkang Dipasang 5D16-200 mm

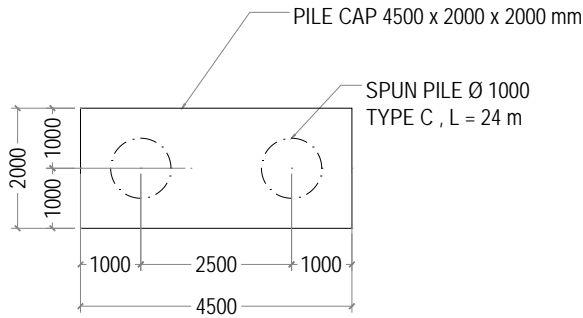


Gambar 7.12. Potongan Pile Cap Monorel

7.4.2 Pile Cap Switch 3 in 1

Data rencana Pile Cap :

Σ tiang pancang tiap group	= 2
Dimensi kolom	= Kolom 1,6 x 1,6 mm ²
Dimensi poer	= 4,5 x 2 x 2 m ³
Mutu beton (f'c)	= K - 400
Mutu baja (fy)	= 400 MPa
Diameter tulangan Utama	= D32 mm
Diameter tulangan Utama	= D16 mm
Selimut beton	= 70 mm
Tinggi efektif (d) :	
d = 2000 - 70 - 16 - ½ * 32 = 1898 mm	



Gambar 7.13. Pile Cap Switch 3 in 1

7.4.2.1 Kontrol Geser Pons

Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan :

$$\phi.V_c = \phi \left(1 + \frac{2}{\beta c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_o \times d$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

$$b_o = 2 (b_k + d) + 2(h_k + d)$$

dimana : b_k = lebar penampang kolom

h_k = tinggi penampang kolom

d = tebal efektif poer

$$b_o = 2 (1600 + 1898) + 2 (1600 + 1898) = 13992 \text{ mm}$$

Batas geser pons

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,6 \cdot \left(1 + \frac{2}{3}\right) \cdot \frac{\sqrt{35}}{6} \times 13992 \times 1898 \\ &= 47133672,67 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \cdot 13992 \cdot 1898 \\ &= 31422448,45 \text{ N}\end{aligned}$$

$$P_u = 6310913,04 \text{ N} < \phi V_c = 31422448,45 \text{ N}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat.

7.4.2.2 Perencanaan Lentur Pile Cap

Gaya dalam output SAP :

- Momen ultimate pada Pile Cap : 8.438.416.511 Nmm

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{0,8} = \frac{8.438.416.511}{0,8} \\ &= 10548020639 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0.85 \times 35 \times 0.8}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,0357\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3}) \\ &= 0,75 \times 0,0357 \\ &= 0,0268\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 35} \\ &= 13,45\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= 1,46 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= 0,00375\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ pakai } \rho$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00375 \times 2000 \times 1898 \\ &= 14253,4 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s' &= 0,5 \times 14253,4 \\ &= 7126,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Perlu :

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s\text{perlu tarik}} = 14253,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{20D32} \quad (A_{s\text{pasang}} = 16085 \text{ mm}^2)$$

- Tulangan tekan pasang:

$$As'_{\text{perlu tekan}} = 7126,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{20D22} \text{ (} As_{\text{pasang}} = 7602,65 \text{ mm}^2 \text{)}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \varnothing \text{sengkang}) - (n \times \varnothing \text{tul. utama})}{n - 1} \\ &= \frac{2000 - (2 \times 70) - (2 \times 16) - (20 \times 32)}{20 - 1} \\ &= 62,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Kemampuan penampang:

$$a = \frac{As_{\text{pasang}} * f_y}{0,85 * f'_c * b} = 108,13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= As * f_y * \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 9016713336 \text{ Nmm} \\ &= 9016713336 \text{ Nmm} > 8438416511 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

7.4.2.3 Perencanaan Geser Pile Cap

$$V_u = 4.813.733 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} * b_w * d \\ &= 3313793,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S_{\min}} &= \frac{1}{3} * b_w * d \\ &= \frac{1}{3} * 2000 * 1898 = 1120266,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

Kondisi 4

$$\phi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} * b_w * d)$$

$$4.813.733 \text{ N} < 7456035,351 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = 3104516,79 \text{ N}$$

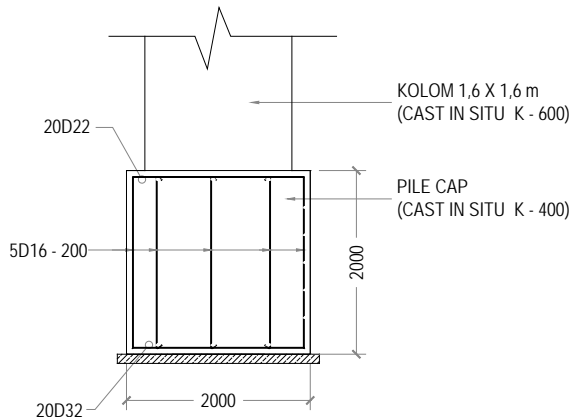
Direncanakan sengkang 5 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 1005,3 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan :

$$S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{1005,3 * 400 * 1898}{3104516,79} = 245 \text{ mm}$$

Sengkang Dipasang 5D16-200 mm

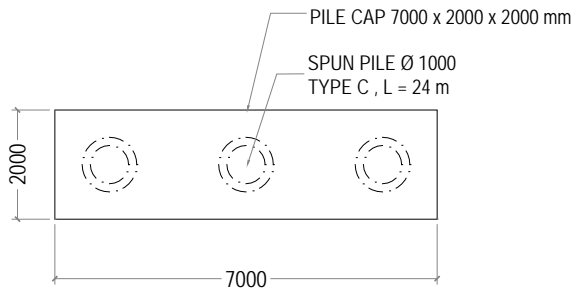


Gambar 7.14. Potongan Pile Cap Switch 3 in 1

7.4.3 Pile Cap Switch 5 in 1

Data rencana Pile Cap :

Σ tiang pancang tiap group	= 3
Dimensi kolom	= Kolom 1,6 x 1,6 mm ²
Dimensi poer	= 4,5 x 2 x 2 m ³
Mutu beton (f'_c)	= K - 400
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Diameter tulangan Utama	= D32 mm
Diameter tulangan Utama	= D16 mm
Selimut beton	= 70 mm
Tinggi efektif (d) :	
$d = 2000 - 70 - 16 - \frac{1}{2} * 32 = 1898$ mm	



Gambar 7.15. Pile Cap Switch 5 in 1

7.4.3.1 Kontrol Geser Pons

Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{2}{\beta c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_o \times d$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$$b_o = 2 (1600 + 1898) + 2 (1600 + 1898) = 13992 \text{ mm}$$

Batas geser pons

$$\phi V_c = 0,6 \cdot \left(1 + \frac{2}{3}\right) \cdot \frac{\sqrt{35}}{6} \times 13992 \times 1898$$

$$= 47133672,67 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \cdot 13992 \cdot 1898$$

$$= 31422448,45 \text{ N}$$

$$P_u = 5471306,88 \text{ N} < \phi V_c = 31422448,45 \text{ N}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat.

7.4.3.2 Perencanaan Lentur Pile Cap

Gaya dalam output SAP :

- Momen ultimate pada Pile Cap : 6.368.174.218 Nmm

$$M_n = 7960217773 \text{ N.mm}$$

$$\beta_1 = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right]$$

$$= 0,0357$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI-03-2847-2002 ps 12.3.3})$$

$$= 0,75 \times 0,0357$$

$$= 0,0268$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 35} = 13,45$$

$$R_n = 1,1$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = 0,00282$$

pakai ρ min

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 2000 \times 1898 = 13286 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times 13286 = 6643 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Perlu :

- Tulangan tarik pasang:

$$A_{s \text{ perlu tarik}} = 13286 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **18D32** ($A_{s \text{ pasang}} = 14476 \text{ mm}^2$)

- Tulangan tekan pasang:

$$A_{s' \text{ perlu tekan}} = 6643 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **18D22** ($A_{s \text{ pasang}} = 6842,4 \text{ mm}^2$)

- Kontrol jarak spasi tulangan:

$$S_{\min} = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Øsenggang}) - (n \times \text{Øtul. utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{2000 - (2 \times 70) - (2 \times 16) - (18 \times 32)}{18 - 1}$$

$$= 73,64 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Kemampuan penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = 97,32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 9102442358 \text{ Nmm} \\ &= 9102442358 \text{ Nmm} > 6368174218 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

7.4.3.3 Perencanaan Geser Pile Cap

$$V_u = 4.337.706 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 3313793,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot 2000 \cdot 1898 = 1120266,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser:

Kondisi 4

$$\phi (V_c + V_{s_{\min}}) < V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \right)$$

$$4.337.706 \text{ N} < 7456035,351 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{0,75} - V_c = 2469814,391 \text{ N}$$

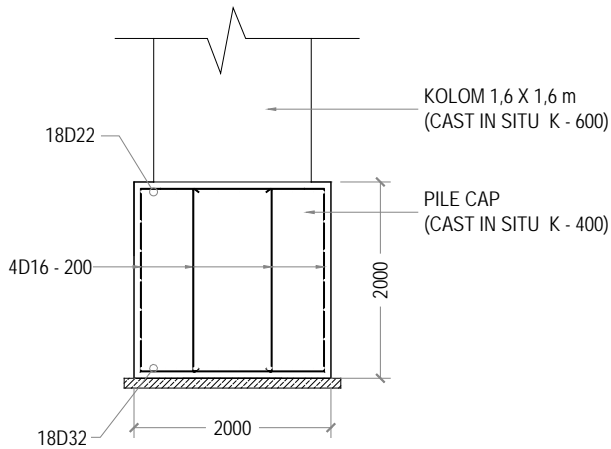
Direncanakan sengkang 4 kaki diameter 16 mm.

$$A_v = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 804,24 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan :

$$S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{804,24 * 400 * 1898}{2469814,391} = 247 \text{ mm}$$

Senggang Dipasang 4D16-200 mm



Gambar 7.16. Potongan Pile Cap Switch 5 in 1

BAB VIII

PENUTUP

Pada bab ini akan diuraikan ringkasan yang dapat ditarik dari pembuatan tugas akhir. Selain itu juga terdapat beberapa saran yang berguna bagi pengembangan lebih lanjut pada tugas akhir ini.

8.1 RINGKASAN

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur Monorel
 - Kolom Spun Pile D1000 mm
 - Balok Guideway dimensi 800 x 1800 mm
 - Balok Pier Head dimensi 1600 x 1600 mm
 - Pondasi Monorel menggunakan tiang spun pile D1000 dengan kedalaman 22 m
2. Dimensi struktur Switch 3 in 1
 - Kolom : 1600 x 1600 mm²
 - Balok Pier Head : 800 x 1850 mm²
 - Balok Gelagar : 600 x 1200 mm²
 - Tebal Pelat : 200 mm
3. Dimensi struktur Switch 5 in 1
 - Kolom : 1600 x 1600 mm²
 - Balok Pier Head : 800 x 1850 mm²
 - Balok Gelagar : 600 x 1200 mm²
 - Tebal Pelat : 200 mm
4. Perhitungan Gaya gempa menggunakan RSNI 2833:201X (2013) dengan mencari grafik gempa response spectrum berdasarkan zona gempa dan data tanah sesuai peraturan.
5. Perhitungan struktur beton bertulang dan prategang sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-2002.

8.2 SARAN

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini maka dapat disarankan :

1. Dalam Perancangan struktur beton prategang sebaiknya memperhatikan dimensi balok dengan gaya prategang yang terjadi dengan memperhatikan panjang balok prategang yang dibutuhkan.
2. Perlu dilakukan formulasi pada program *Microsoft excel* untuk merancang balok prategang, baik dalam dimensi, gaya *jacking*, maupun eksentrisitas gayanya. Hal tersebut perlu dilakukan karena mengingat banyaknya *trial and error* yang harus dilakukan untuk mendapatkan dimensi, gaya dan eksentrisitas yang efektif dan efisien.
3. Dalam merancang struktur bangunan sebaiknya perencana benar – benar memikirkan kemudahan pelaksanaan di lapangan, sehingga hasil perancangan dapat dilaksanakan oleh pelaksana lapangan.



JURUSAN S1 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO.	TGL.	DETAIL REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	01
SKALA	JUMLAH GBR
1:8000	27

JUDUL GAMBAR

- LAYOUT PERENCANAAN MONOREL

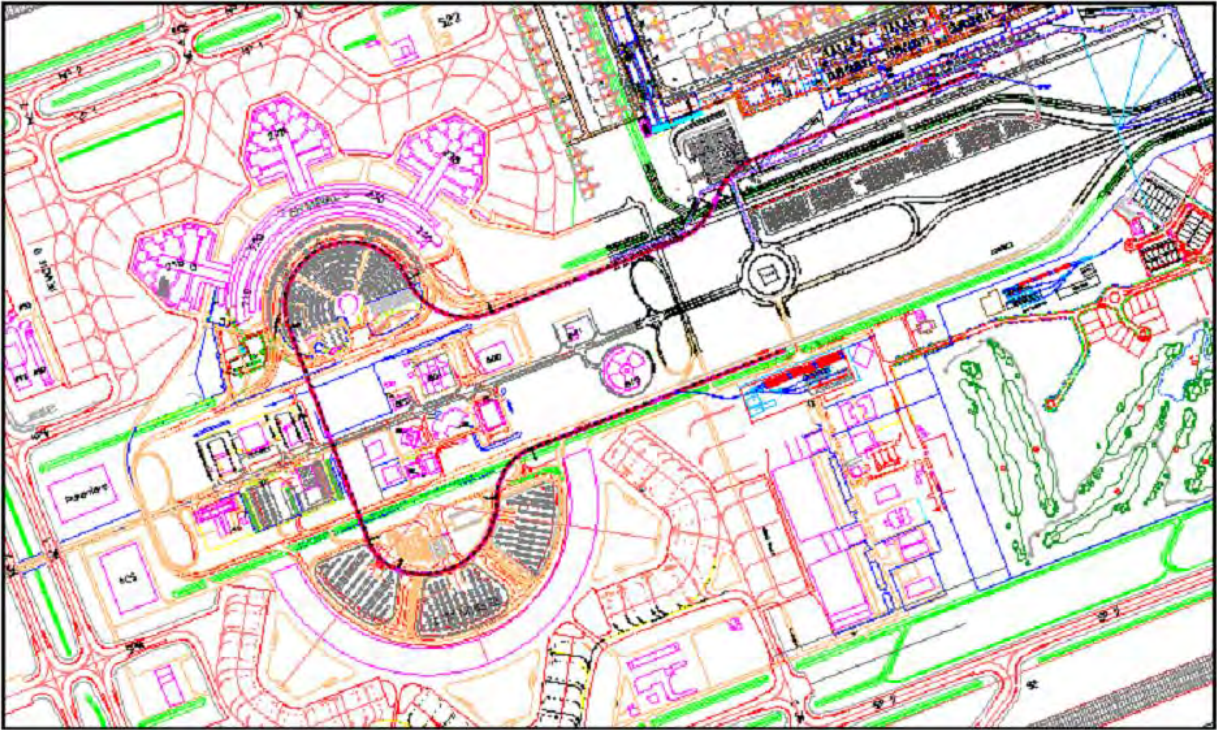
DIGAMBAR OLEH :

MAHASISWA

MUHAMMAD IKHSAN HIDAYAT
NRP. 3112 105 054

Menge-tahui/Menyet-u-jui
DOSEN PEMBIMBING

Djoko Irawan, Ir,Ms
NIP. 19590213 198701 1 001



LAYOUT PERENCANAAN MONOREL

SKALA 1 : 8000



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOKKAHO-MATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	TGL	DETAIL	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	02

SKALA	JUMLAH GBR
1:500	27

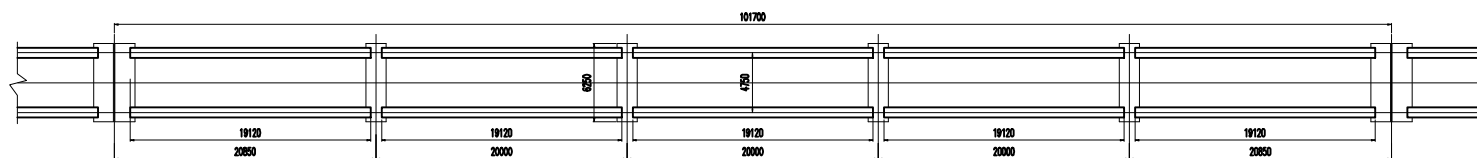
JUDUL GAMBAR

- BALOK MENERUS MONOREL

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

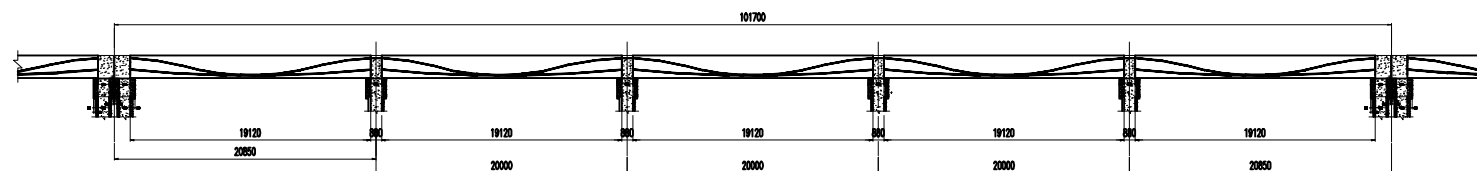
BERNARD HOKAN HARAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Endang Isman, S.T., M.Eng.
NIP. 19590213 198701 1 001



TAMPAK ATAS BALOK MENERUS LURUS 100m - JARAK TRACK 4,75 m

SKALA 1 : 500



BALOK MENERUS KONDISI TRACK LURUS 100m - JARAK TRACK 4,75 m

SKALA 1 : 500



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENDOKRENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO. TBL. DETAIL REVISI PARAF

NO. TBL. DETAIL	REVISI	PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR 03

SKALA JUMLAH GBR

1:150 27

JUDUL GAMBAR

- POTONGAN BALOK
GUIDEWAY
MONOREL

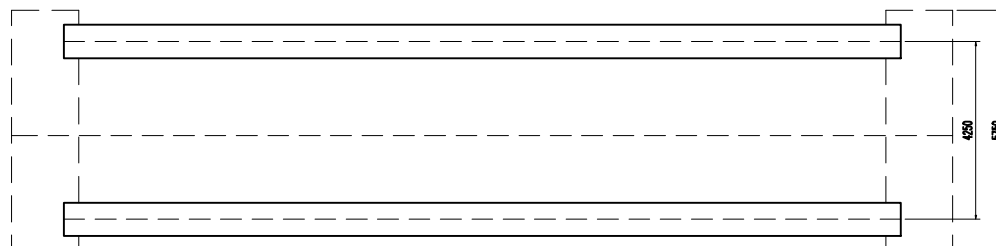
DIGAMBAR OLEH :

MAHASISWA

IRWANAD HOKAN PRAYAT
NRP. 3112 105 054

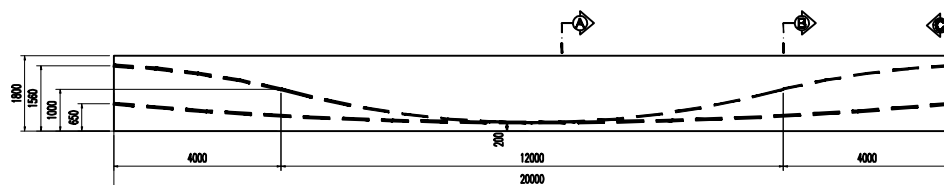
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Edwin Jansen, S.T.
NIP. 19590213 198701 1 001



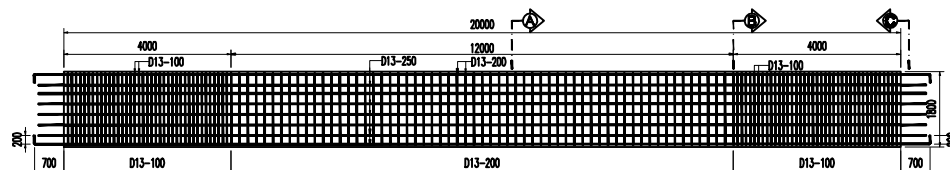
TAMPAK ATAS BALOK LURUS 20 m - JARAK TRACK 4 m

SKALA 1 : 150



POTONGAN MEMANJANG BALOK LURUS 20 m - JARAK TRACK 4 m

SKALA 1 : 150



PENULANGAN BALOK LURUS 20 m - JARAK TRACK 4 m

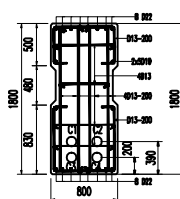
SKALA 1 : 150

KETERANGAN TENDON:

- C1 = 2XØ/M15-17
- C2 = 2XØ/M15-17
- C3 = 2XØ/M15-17
- C4 = 2XØ/M15-17

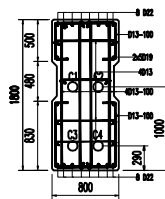
KETERANGAN :

- Strand
- (ASTM-A436-B15,24- f_{pu} =1860 MPa)
- Jacking Force = 70% UTS
- Pemertikan tendon dari satu sisi



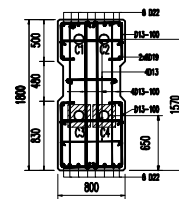
POTONGAN A

SKALA 1 : 50



POTONGAN B

SKALA 1 : 50



POTONGAN C

SKALA 1 : 50



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SEKELANG-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO. TBL. DETAIL REVISI PARAF

NO. TBL. DETAIL REVISI	PARAF

NO. GBR. NO. GBR.

STR	04
-----	----

SKALA JUMLAH GBR

1:150	27
-------	----

JUDUL GAMBAR

- POTONGAN A&B
PILAR MONOREL

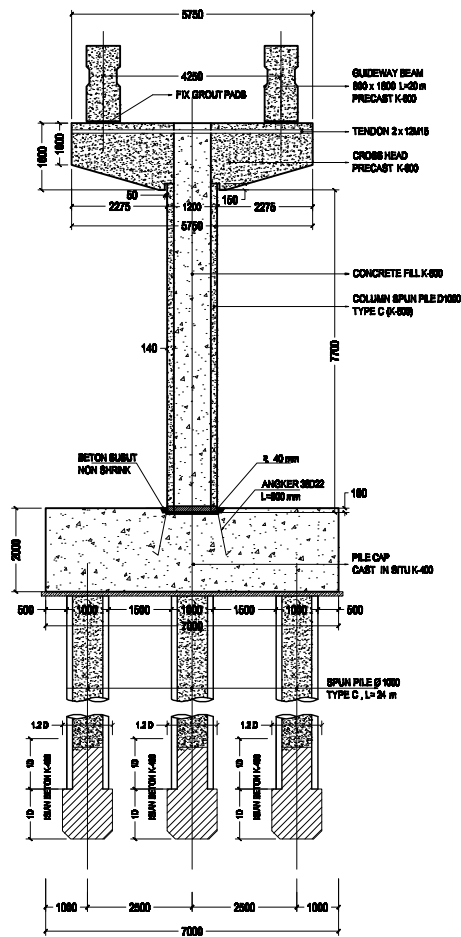
DIGAMBAR OLEH :

MAHASISWA

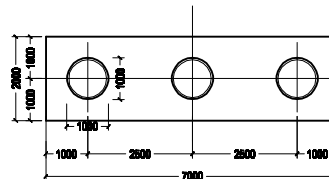
IRHAMAD HIKMAN HAYAT
NRP. 3112 105 054

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

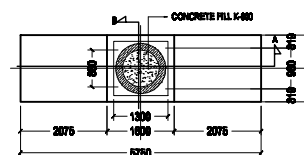
(Nama Dosen, Sdr.)
NIP. 19590213 198701 1 001



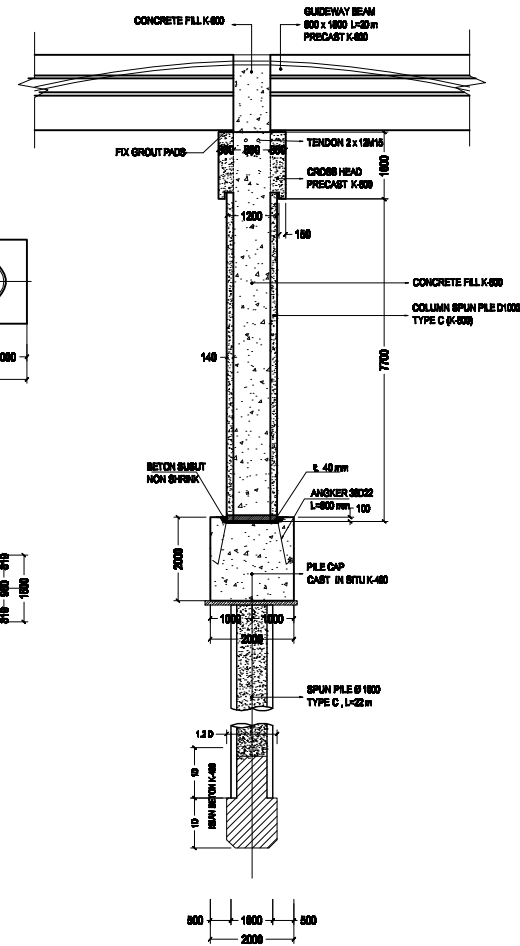
POTONGAN A MODEL SINGLE PIER SIMETRIS
Scale 1 : 100



DEWAH TIANG PANGANG
Scale 1 : 100



DEWAH PIER HEAD
Scale 1 : 100



POTONGAN B MODEL SINGLE PIER SIMETRIS
Scale 1 : 100



**PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN**

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GANBAR DALAM SATUAN MM

NO	TEL	DETAIL REVISI	PARAF
----	-----	---------------	-------

MIDDLE GROUP	HQ. GROUP
---------------------	------------------

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

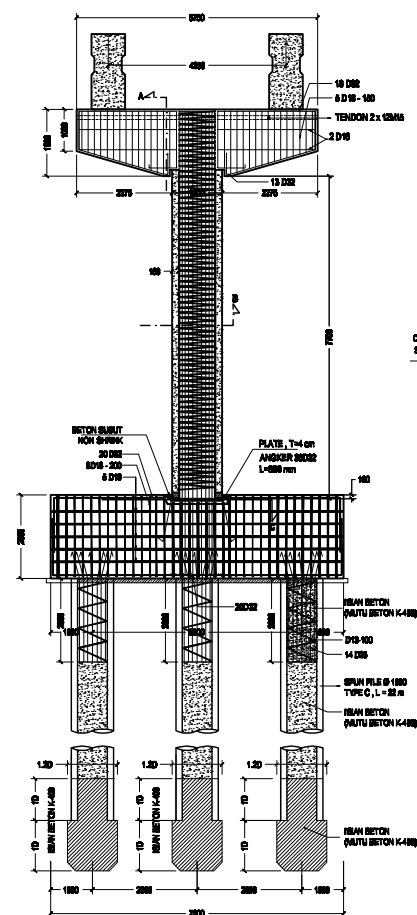
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

- DETAIL
PENULANGAN
PILAR MONOREL

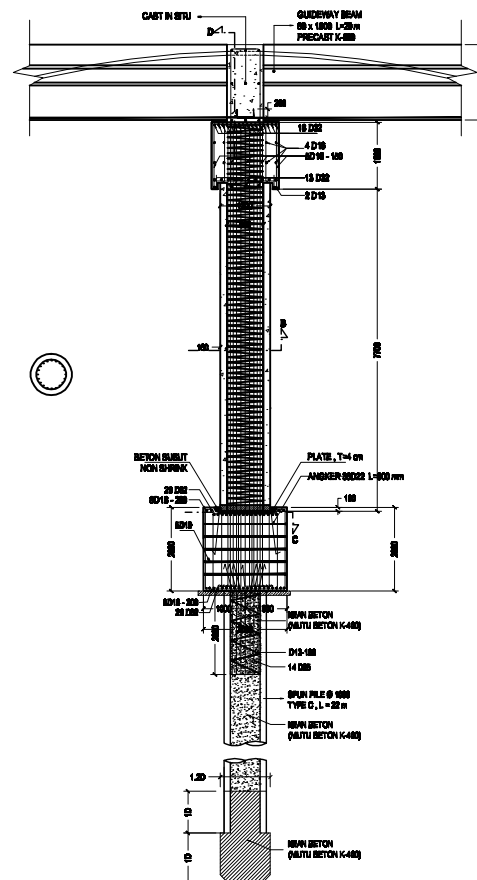
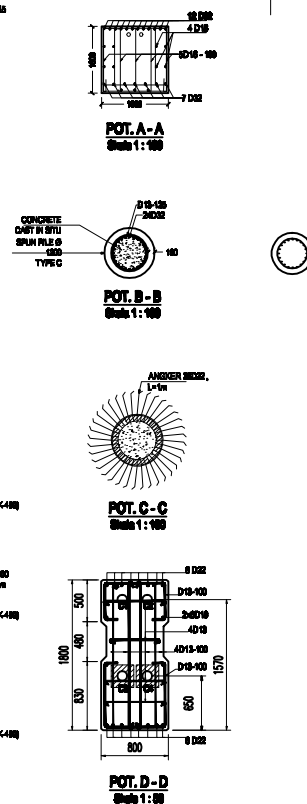
MAHASISWA

MUHAMMAD BUDIAN HIDAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

NIP. 19590213 198701 1 001



DETAIL PENULANGAN SINGLE PIER SIMETRIS, JARAK TRACK 4,25 m
Skala 1 : 100





JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	TGL	DETAIL	REVISI	PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR 06

SKALA JUMLAH GBR

1:150 27

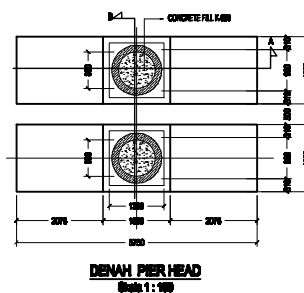
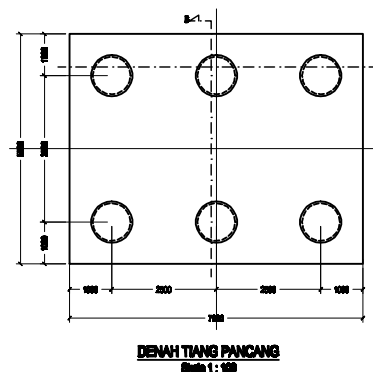
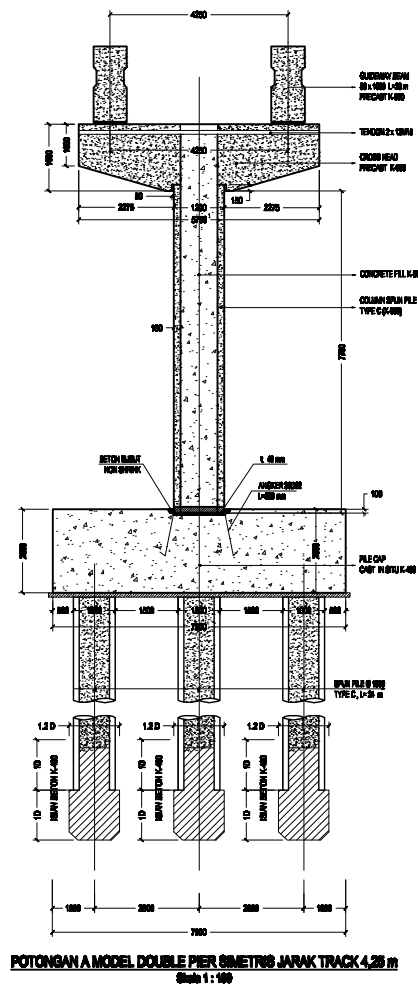
JUDUL GAMBAR

- POTONGAN A & B
DOUBLE PIER
PILAR MONOREL

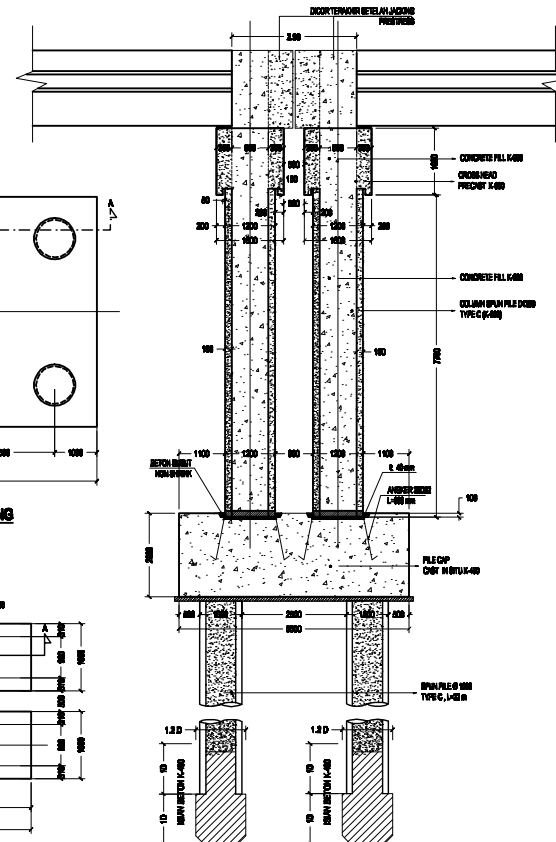
DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRWANAD HIKMAN HARAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Sholih Juman, S.T.
NIP. 19590213 198701 1 001



POTONGAN B MODEL DOUBLE PIER SIMETRIS JARAK TRACK 4,25 m
Denah 1:100





**PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN**

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GANBAR DALAM SATUAN MM

NO	TOL	DETAIL REVISI	PARAF
----	-----	---------------	-------

CODE QWR.	NO. QWR.
-----------	----------

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

--	--

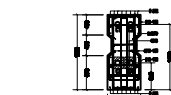
- DETAIL
PENULANGAN
DOUBLE PIER
PILAR MONOREL

MAHASISWA

MUHAMMAD NURHAN NIDAYAT
NRP. 3112 105 054

Mengetahui/Menyetujui

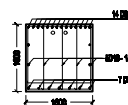
NIP. 19590213 198701 1 001



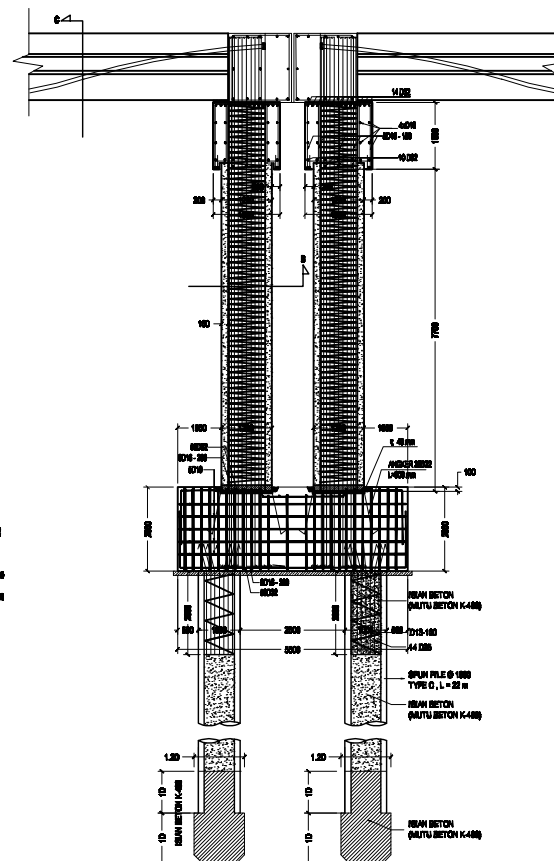
POT. C-C
Scale 1:100



POT. B-B
Scale 1:100



POT. A-A
比例 1:100



DETAIL PENULANGAN DOUBLE PIER SIMETRIS JARAK TRACK 4,25 m
Skala 1 : 100

Scale 1: 100



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SEKANGIN-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	08
SKALA	JUMLAH GBR
1:200	27

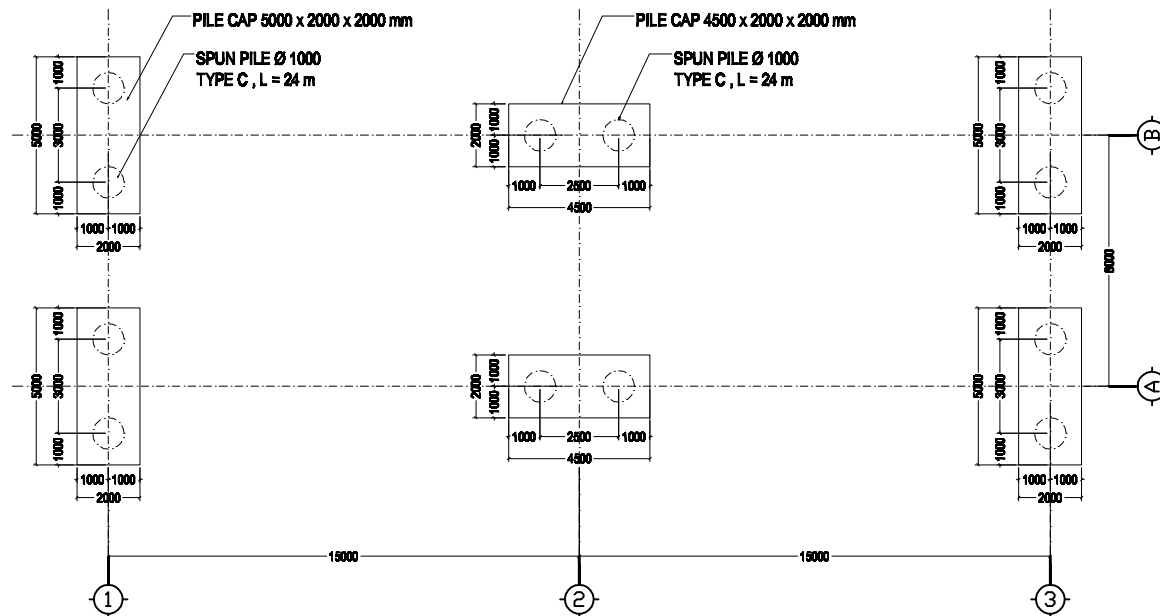
JUDUL GAMBAR

• DENAH PONDASI
SWITCH 3 IN 1

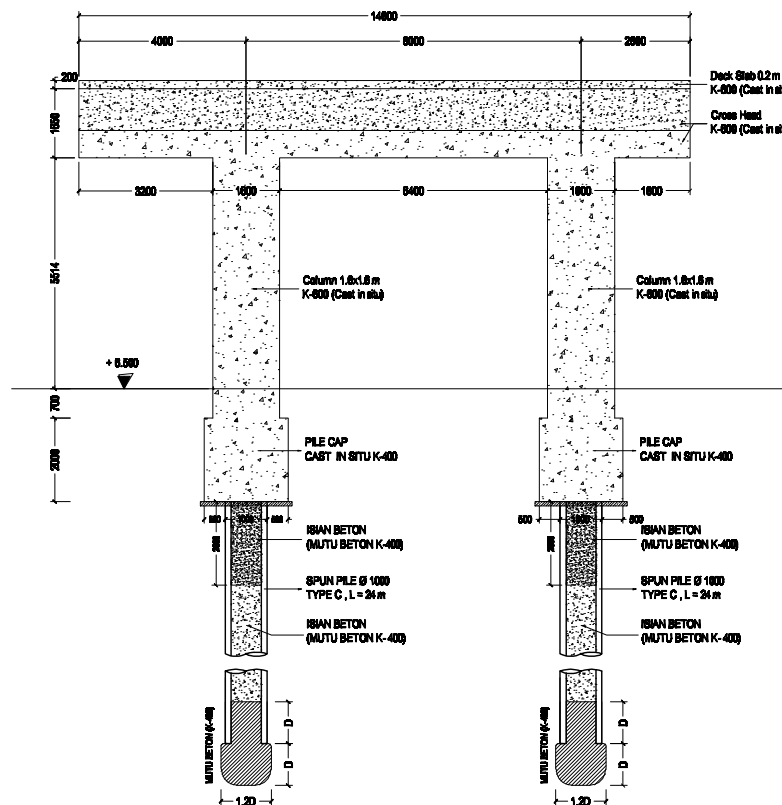
DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

BERNARD HENDRIK PRAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Edwin Jansen, S.T.
NIP. 19590213 198701 1 001



DENAH PONDASI SWITCH 3 in 1
Skala 1 : 200



POTONGAN MELINTANG (TENGAH) SWITCH 3 IN 1
Skala 1 : 100



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SUKARNOPRATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	09

SKALA	JUMLAH GBR
1:150	27

JUDUL GAMBAR

•POTONGAN
MELINTANG TENGAH

DIGAMBAR OLEH :

MAHASISWA

BERNARDUS HENDRIKUS
NRP. 3112 105 054

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. H. H. H.
NIP. 19590213 198701 1 001



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SEKELUNDUPATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	10

SKALA	JUMLAH GBR
1:150	27

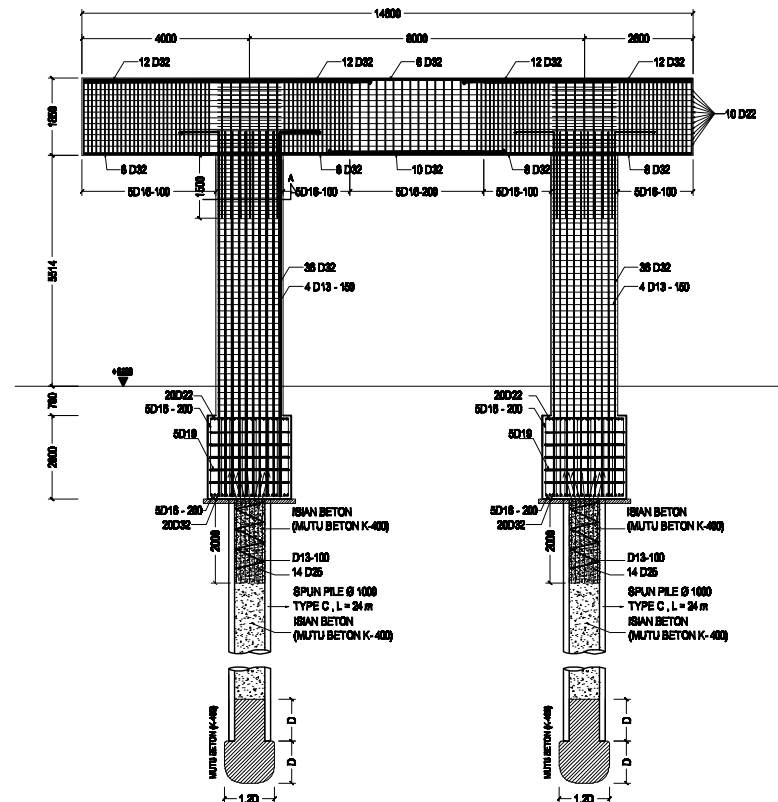
JUDUL GAMBAR

•PENULANGAN POTONGAN
MELINTANG TENGAH

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRWANAD HIKMAN HAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Edwin Jansen, S.T.
NIP. 19590213 198701 1 001



PENULANGAN POTONGAN (TENGAH) MELINTANG SWITCH 3 IN 1
Scale 1:150



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO. TBL DETAIL REVISI PARAF

NO. TBL	DETAIL	REVISI	PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR 11

SKALA JUMLAH GBR

1:150 27

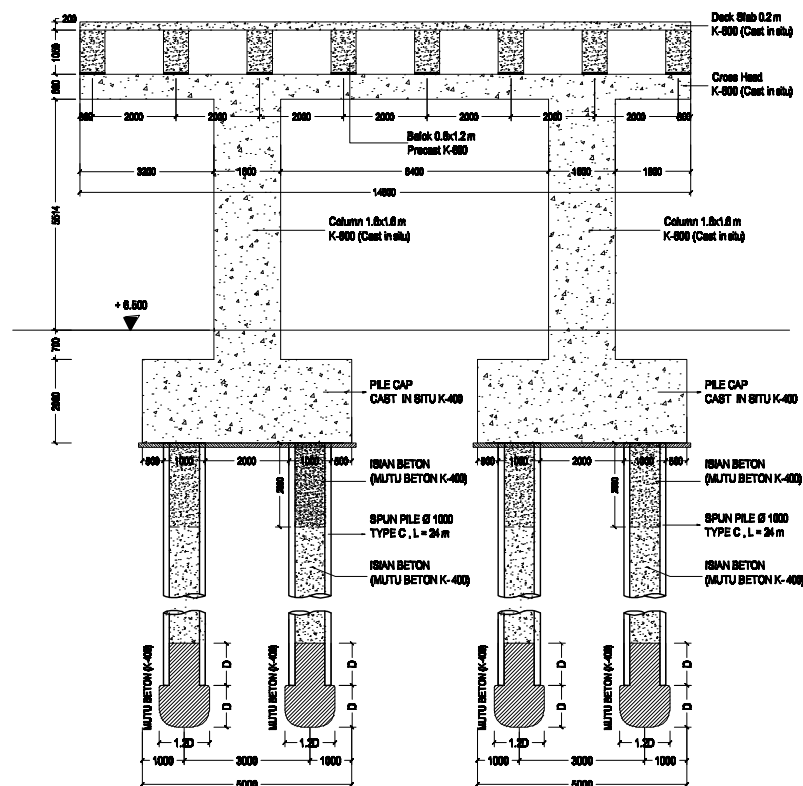
JUDUL GAMBAR

• POTONGAN
MELINTANG TEPI

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

BERNARDI HENDRIK HAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

(Nama Dosen, Sdr.)
NIP. 19590213 198701 1 001



POTONGAN MELINTANG (TEPI) SWITCH 3 IN 1
Scale 1 : 150



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SUKARNOPHATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GANBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	REVISI	PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR 12

SKALA JUMLAH GBR

1:150 27

JUDUL GAMBAR

•PENULANGAN POTONGAN
MELINTANG TEPI

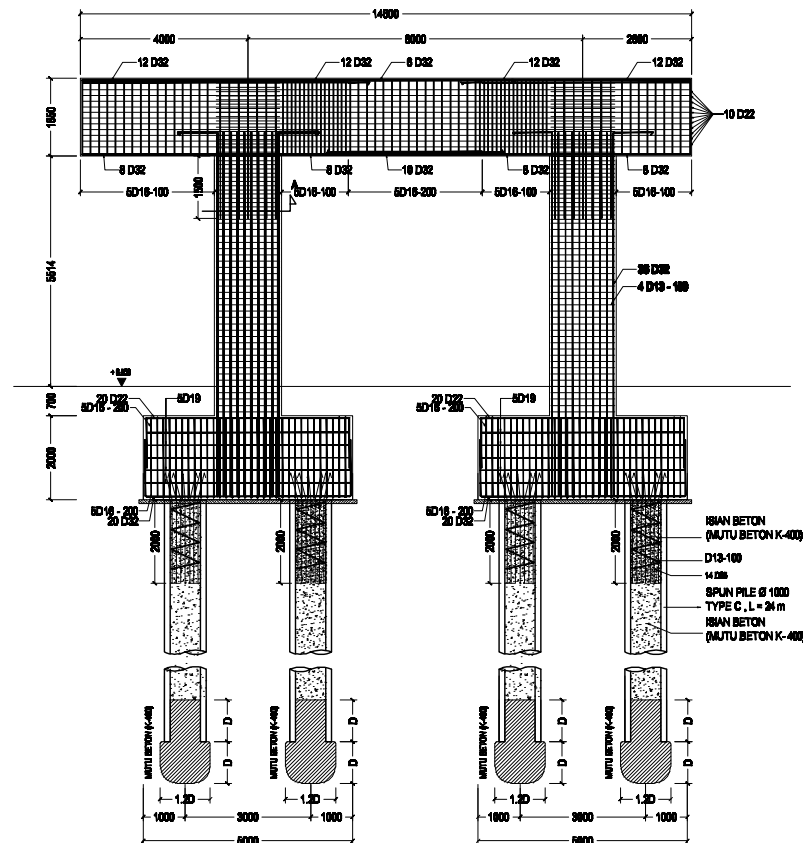
DIGAMBAR OLEH :

MAHASISWA

BERNARDUS HENDRIKUS
NRP. 3112 105 054

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

(Nama Dosen, S.Si)
NIP. 19590213 198701 1 001



PENULANGAN POTONGAN (TEPI) MELINTANG SWITCH 3 IN 1
Scale 1:150



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO. TBL DETAIL REVISI PARAF

NO. TBL DETAIL REVISI	PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR 13

SKALA JUMLAH GBR

1:150 27

JUDUL GAMBAR

- POTONGAN MEMANJANG TENGAH
- POTONGAN MEMANJANG TEPI

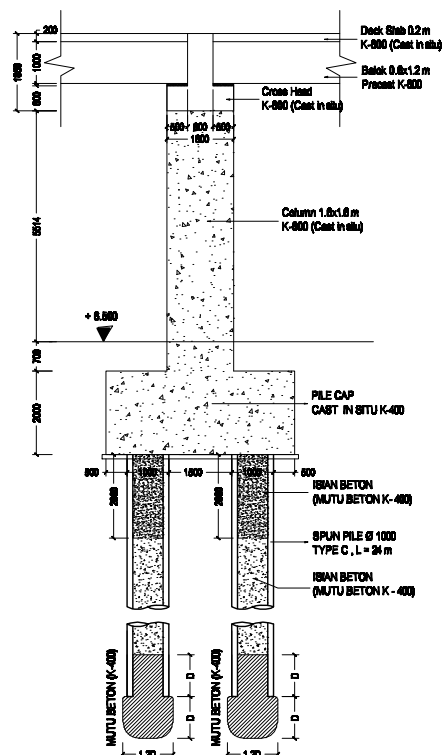
DIGAMBAR OLEH :

MAHASISWA

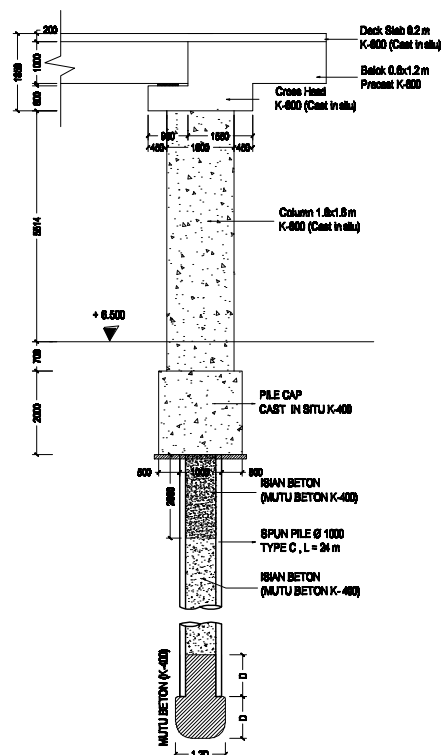
IRWANAD HUSAN HADAYAT
NRP. 3112 105 054

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

(Nama Lengkap, Sdr.)
NIP. 19590213 198701 1 001



POTONGAN MEMANJANG (TENGAH) SWITCH 3 IN 1
Scale 1 : 100



POTONGAN MEMANJANG (TEPI) SWITCH 3 IN 1
Scale 1 : 100



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	14
SKALA	JUMLAH GBR
1:150	27

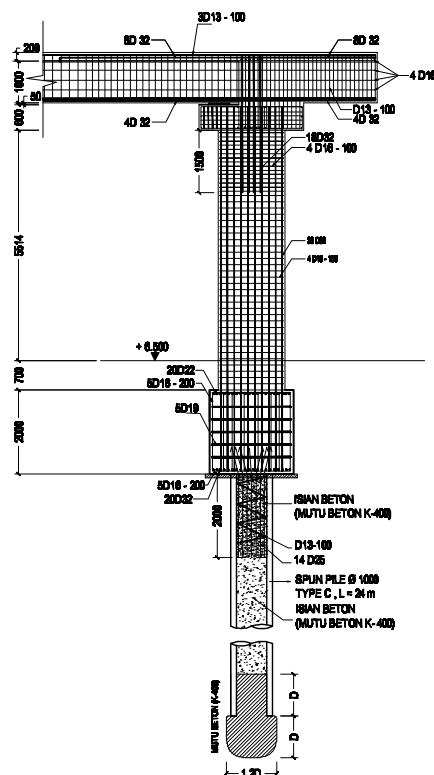
JUDUL GAMBAR

♦PENULANGAN POTONGAN
MEMANJANG TENGAH

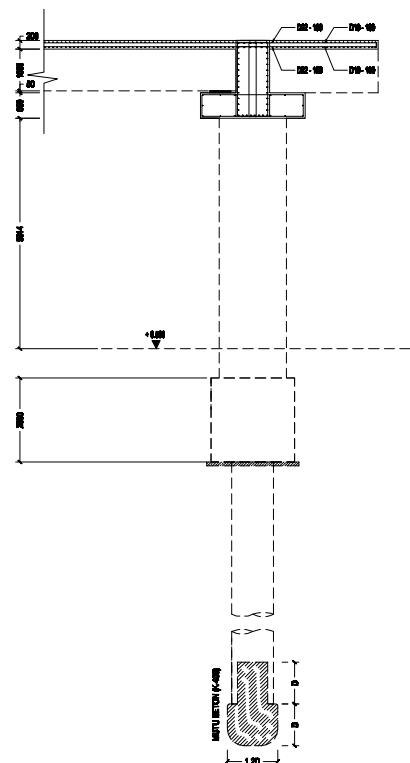
DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRWANAD HUSNAN HAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

(Situs Jember, 12/12)
NIP. 19590213 198701 1 001



PENULANGAN POTONGAN MEMANJANG (TEPI) SWITCH 3 IN 1
Scale 1 : 100



POTONGAN 2-2
Scale 1 : 100



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SUKARNOPRATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	TGL	DETAIL	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	15
SKALA	JUMLAH GBR
1:150	27

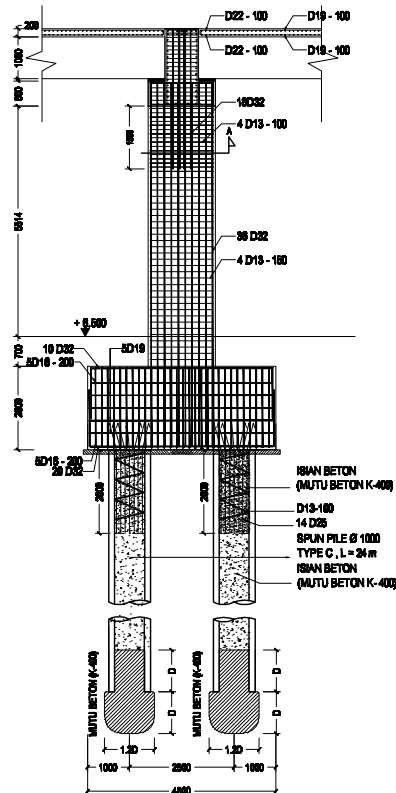
JUDUL GAMBAR

- PENULANGAN POTONGAN
MEMANJANG TENGAH
- PENULANGAN PLAT
SWITCH 3 IN 1

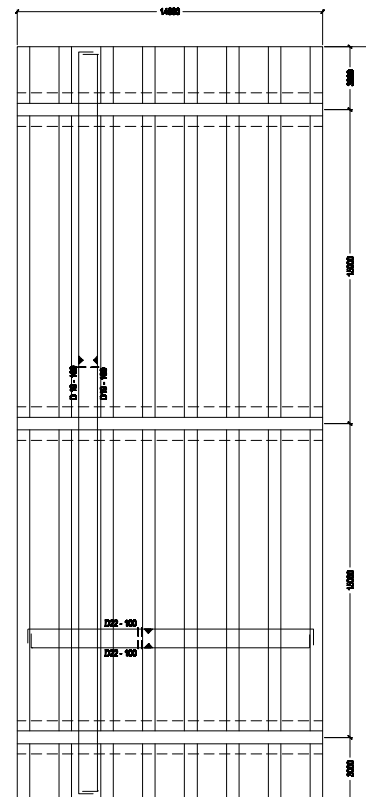
DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRMANAD HIKMAN HADAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Edwin Jansen, S.T.
NIP. 19590213 198701 1 001



PENULANGAN POTONGAN MEMANJANG (TENGAH) SWITCH 3 IN 1
Scale 1 : 100



PENULANGAN PLAT SWITCH 3 IN 1
Scale 1 : 200



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO. TUL DETAIL REVISI PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR 16

SKALA JUMLAH GBR

1:50 27

JUDUL GAMBAR

• DETAIL TULANGAN
BALOK DAN KOLOM
SWITCH 3 IN 1

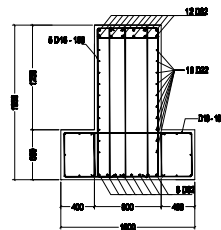
DIGAMBAR OLEH :

MAHASISWA

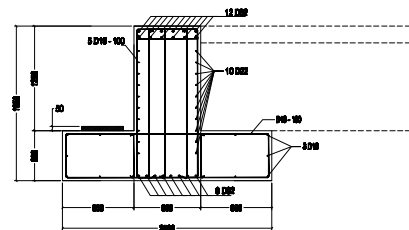
BERHARNO MOHAMMAD HAYAT
NRP. 3112 105 054

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

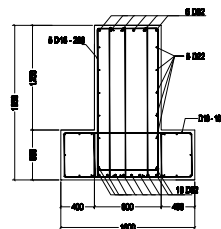
Sholah Isman, S.T., M.Eng.
NIP. 19590213 198701 1 001



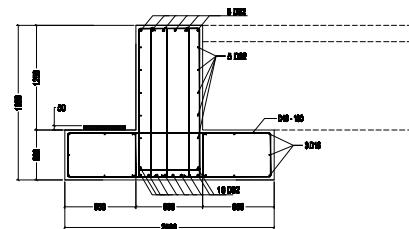
TUL PIER HEAD (TENGAH) TUMPUAN
Skala 1 : 50



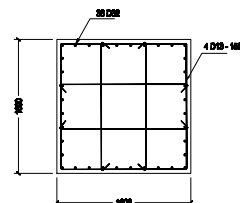
TUL PIER HEAD (TEPI) TUMPUAN
Skala 1 : 50



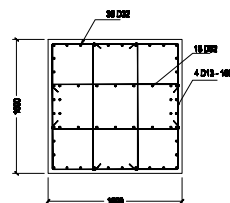
TUL PIER HEAD (TENGAH) LAPANGAN
Skala 1 : 50



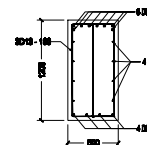
TUL PIER HEAD (TEPI) LAPANGAN
Skala 1 : 50



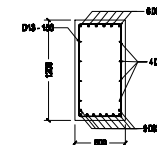
TUL KOLOM
Skala 1 : 50



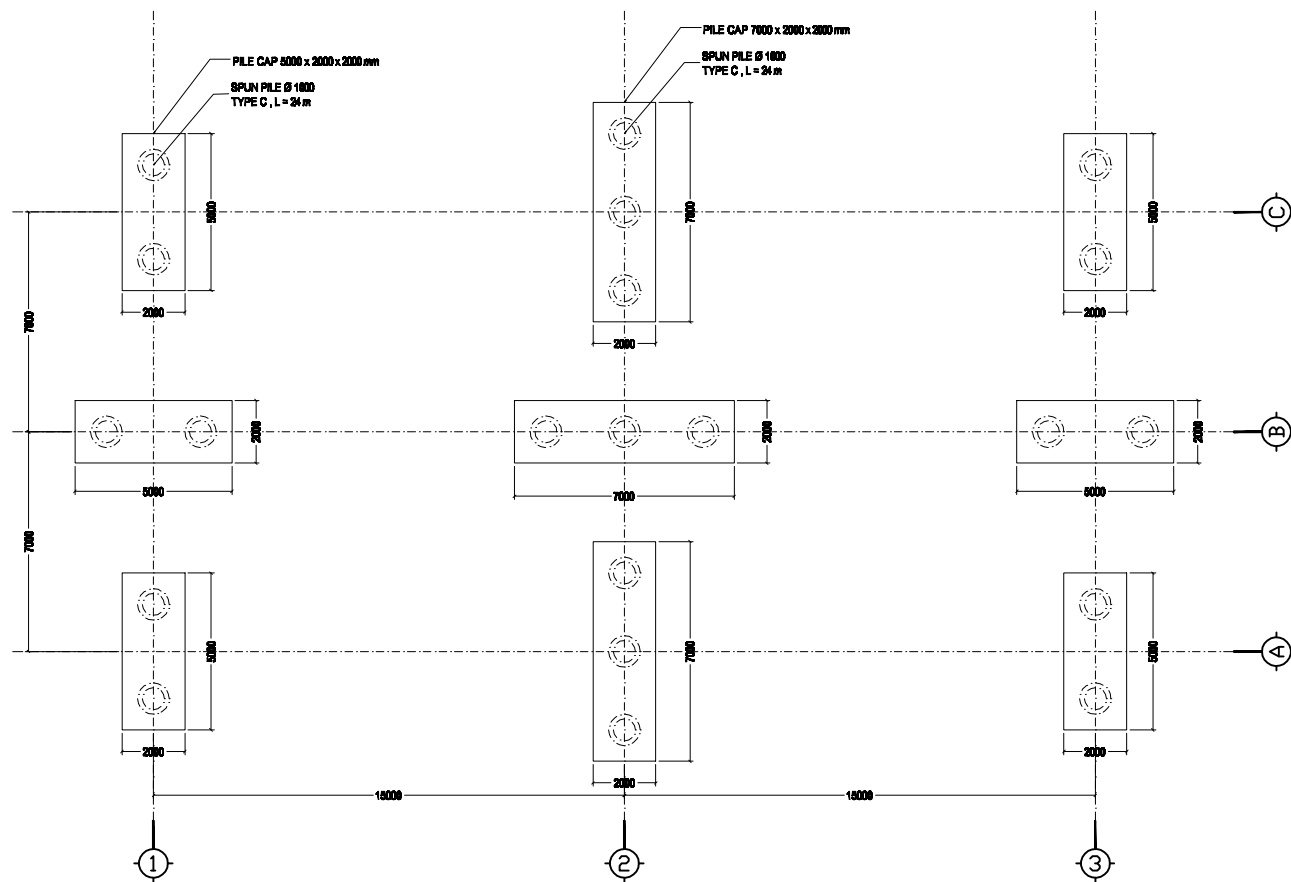
POT. A-A
Skala 1 : 50



TUL BALOK TUMPUAN
Skala 1 : 50



TUL BALOK LAPANGAN
Skala 1 : 50



DENAH PONDASI SWITCH 5 IN 1
Scale 1:200



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SEKAMPOH-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : fy -400 Mpa
fy -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	17
SKALA	JUMLAH GBR
1:200	27

JUDUL GAMBAR

• DENAH PONDASI SWITCH
5 IN 1

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

BERKASUS KEMAH KEMAH
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. H. H. H. H.
NIP. 19590213 198701 1 001



**PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN**

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

NO	TOL	DETAIL REVISI	PARAF
----	-----	---------------	-------

CODE QNR	NO. QNR
----------	---------

— 250 —

MAHASISWA

Mengetahui/Menyetujui

DOWN FREQUENCIES

Włodzisław Jurek
NIP. 19590213 198701 1 001





JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	19
SKALA	JUMLAH GBR
1:200	27

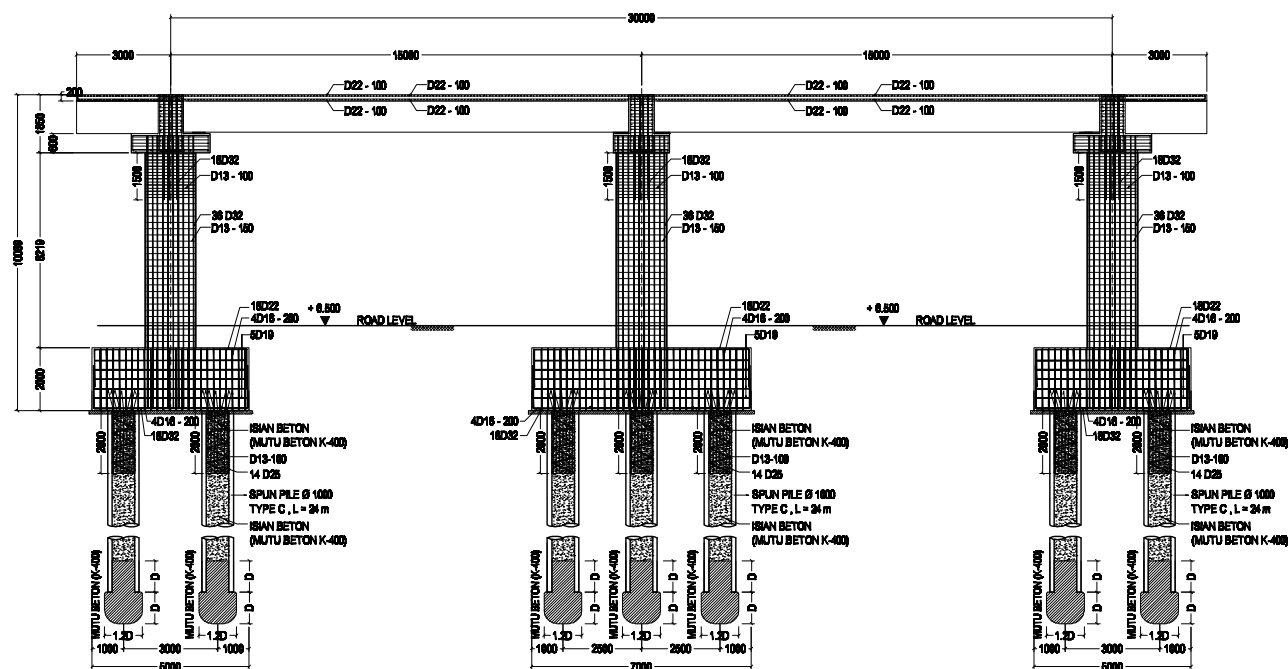
JUDUL GAMBAR

• PENULANGAN SECTION B
SWITCH 5 IN 1

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRWANAD HUSNAN HAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Sholah Isman, S.T.
NIP. 19590213 198701 1 001



PENULANGAN SECTION B SWITCH 5 IN 1
Scale 1 : 200



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	20
SKALA	JUMLAH GBR
1:200	27

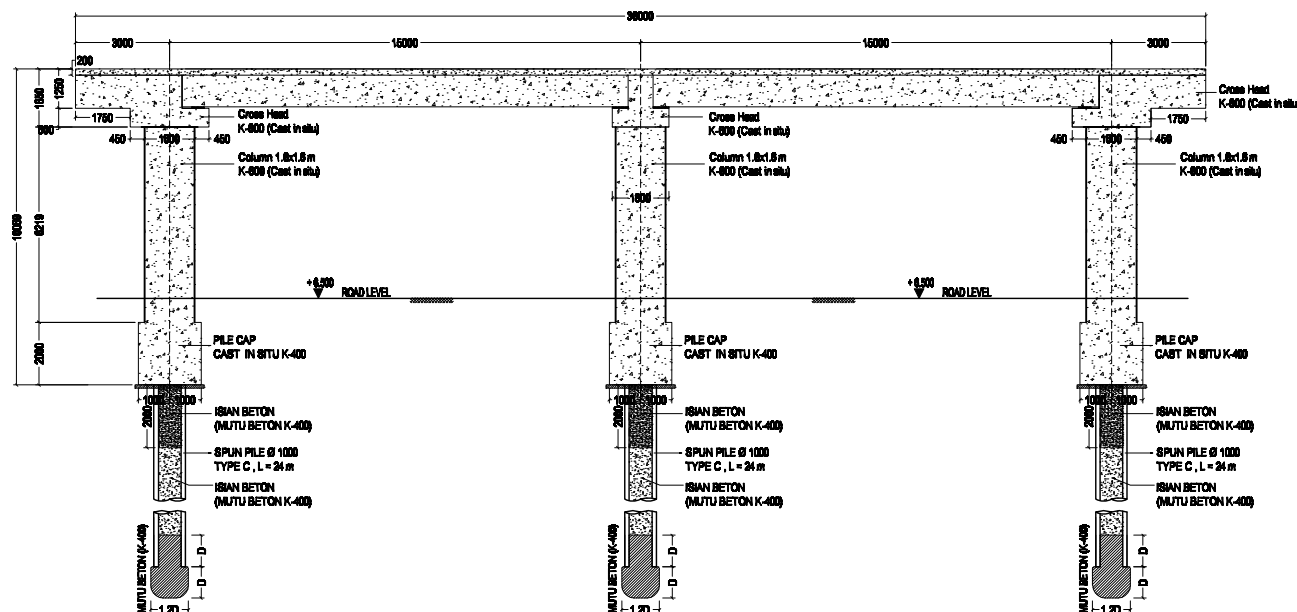
JUDUL GAMBAR

• SECTION A & SWITCH
S M 1

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRWANAD HUSAN HAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Irwan Husein, S.T.
NIP. 19590213 198701 1 001



SECTION A & SWITCH S M 1
S M 1



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SUKARNOPUTRA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	21
SKALA	JUMLAH GBR
1:400	27

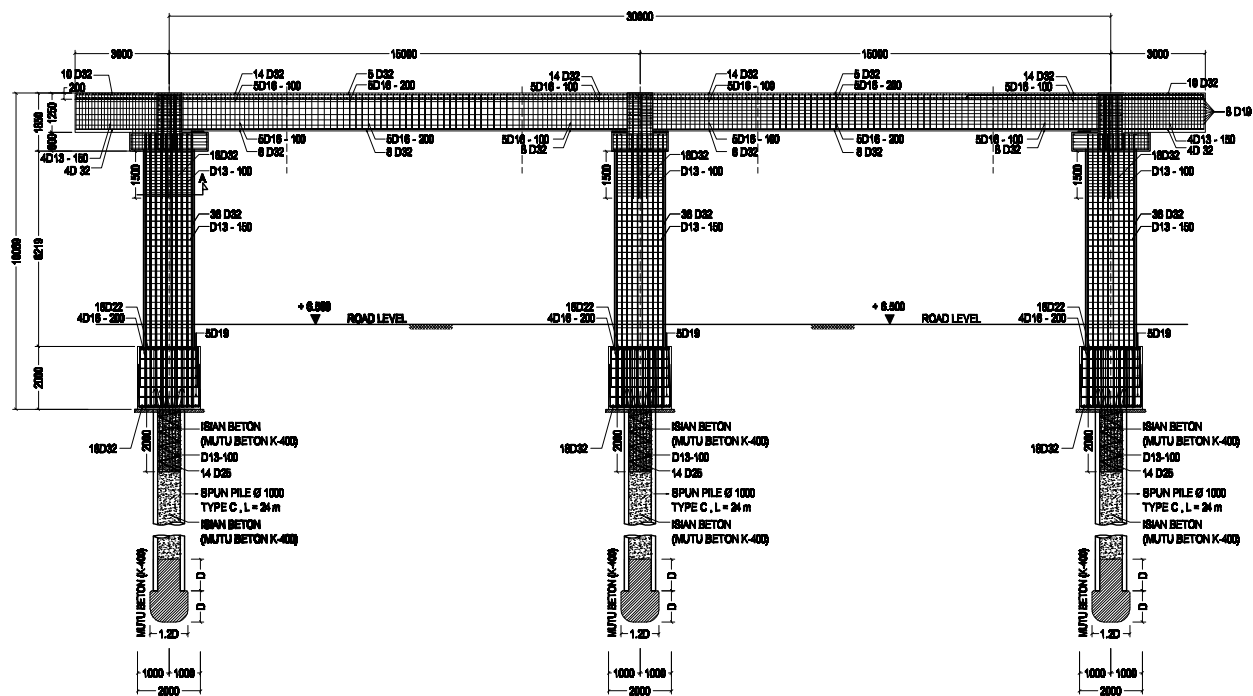
JUDUL GAMBAR

TAMPAK SISI
TIMUR

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRWANAD HUSNAN HARAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. H. H. H.
NIP. 19590213 198701 1 001



PENULANGAN SECTION A & C SWITCH 5 IN 1
Scale 1 : 200



**PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENGKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN**

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

NO	TOL	DETAIL REVISI	PARAF
----	-----	---------------	-------

KODE GNR.	NO. GNR.

SKALA	JUMLAH GER

JUDUL GAMBAR	

TAMPAK SISI
TIMUR

[illegible]

DIBANDAR OLEH :
MAHASISWA

MUHAMMAD BUKHARI NIDAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PENGAMBI

Publikationsschein
NIP. 19590213 198701 1 001





JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SEKELUNDUP-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO. TBL. DETAIL REVISI PARAF

NO. TBL. DETAIL	REVISI	PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR 24

SKALA JUMLAH GBR

1:150 27

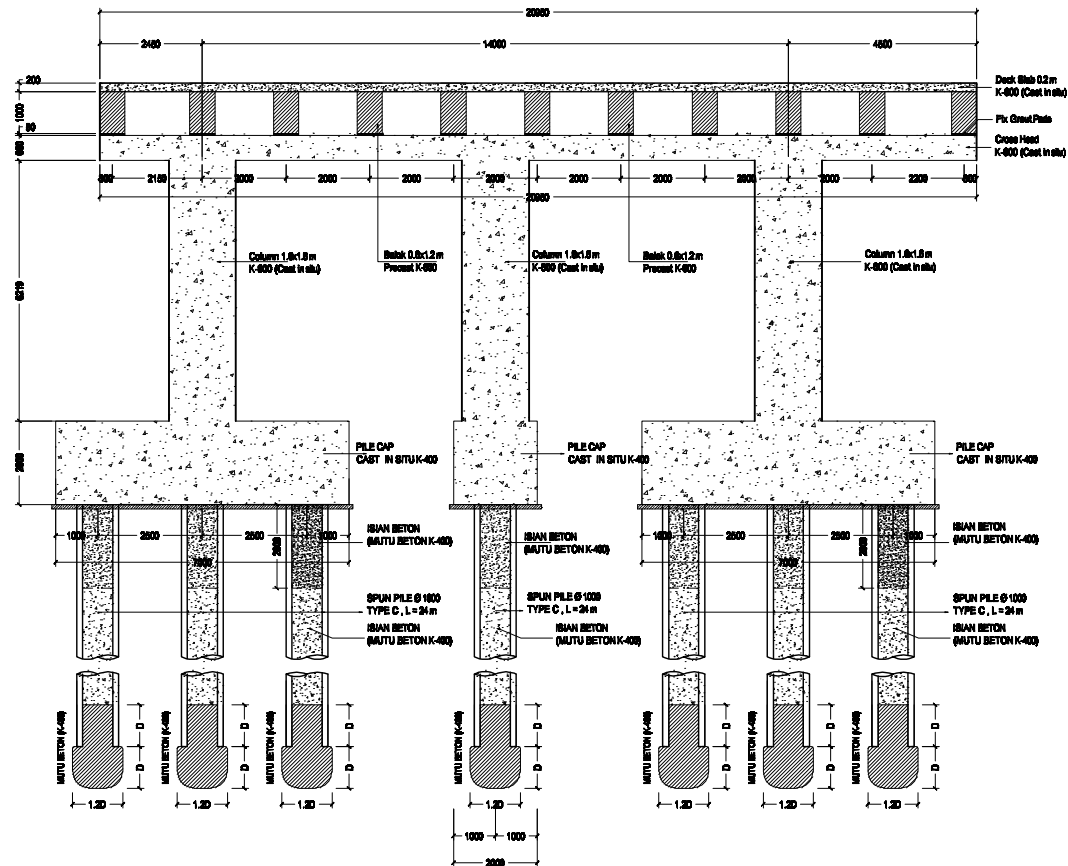
JUDUL GAMBAR

- SECTION 2 SWITCH 6 IN 1

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRWANAD HUSMAN HADAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

(Situs Jember, 12/12)
NIP. 19590213 198701 1 001



SECTION 2 SWITCH 6 IN 1
Scale 1 : 100



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOEKARNO-HATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-400
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO	REVISI	REVISI	PARAF

KODE GBR.	NO. GBR.
STR	25
SKALA	JUMLAH GBR
1:400	27

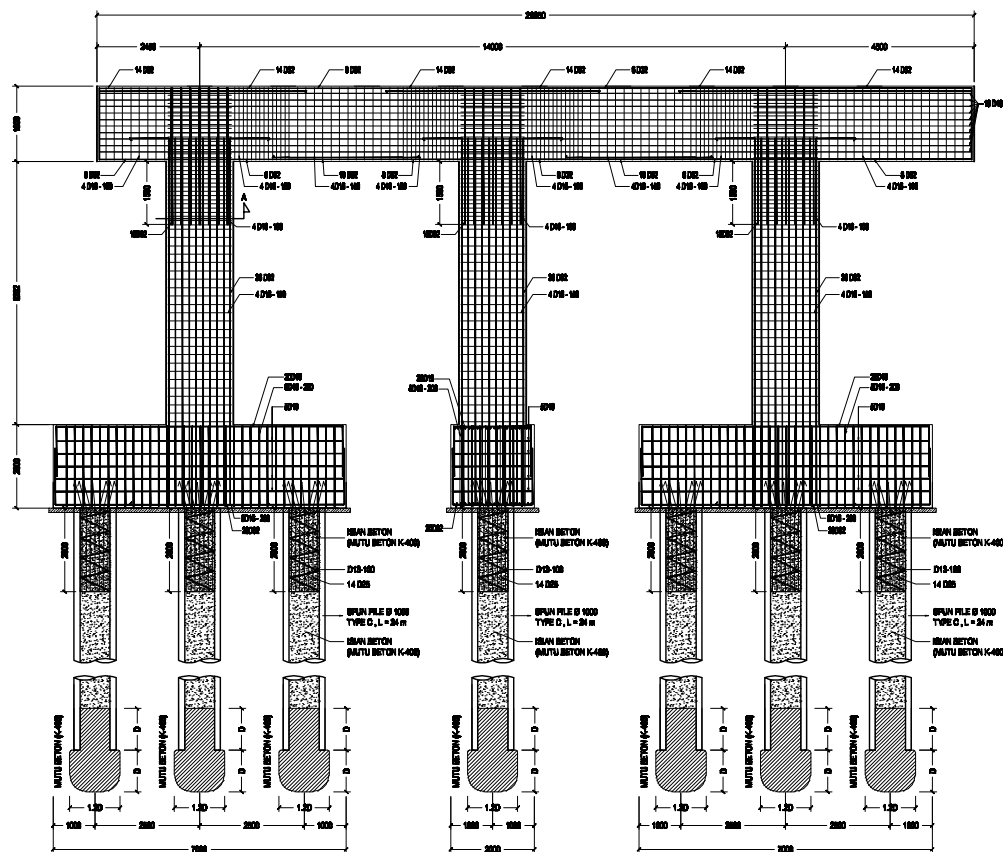
JUDUL GAMBAR

TAMPAK SISI
TIMUR

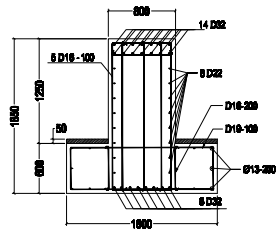
DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

IRFANAD HUSAN HAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

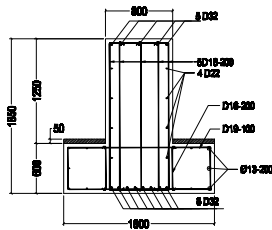
Dr. H. Husein, S.T., M.Eng.
NIP. 19590213 198701 1 001



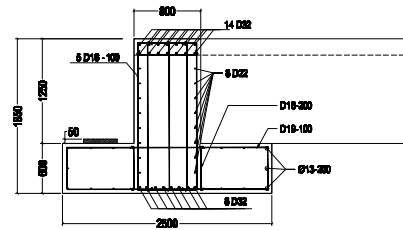
PENJELASAN SECTION 2 SWITCH 5 IN 1
Scale 1 : 100



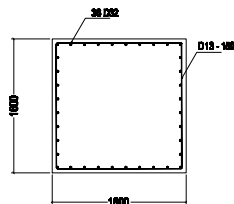
TUL. PIER HEAD TUMPUAN (TENGAH)
Skala 1 : 50



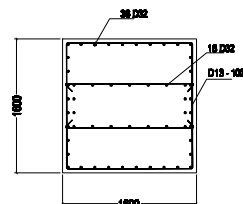
TUL. PIER HEAD LAPANGAN (TENGAH)
Skala 1 : 50



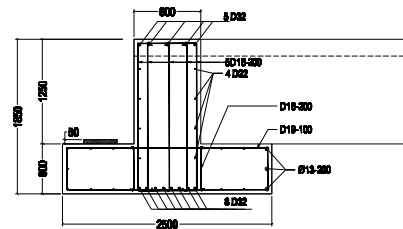
TUL. PIER HEAD TUMPUAN (TEPI)
Skala 1 : 50



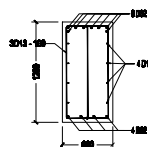
TUL. KOLOM
Skala 1 : 50



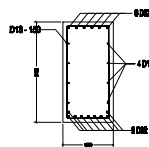
POT. A-A
Skala 1 : 50



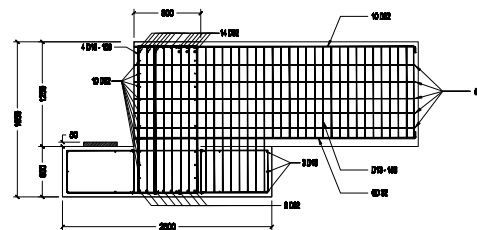
TUL. PIER HEAD LAPANGAN (TEPI)
Skala 1 : 50



TUL. BALOK TUMPUAN
Skala 1 : 50



TUL. BALOK LAPANGAN
Skala 1 : 50



TUL. PIER HEAD (ADA BALOK KANTILEVER)
Skala 1 : 50



JURUSAN 01 LINTAS JALUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
TRACK MONORAIL DAN
SWITCHPOINT BANDARA
SOKKAHO-MATTA
CENKARENG
DENGAN STRUKTUR BETON
PRACETAK - PRATEKAN

KETERANGAN

MUTU BETON : K-600
K-400
MUTU BAJA TUL : f_y -400 Mpa
 f_y -240 Mpa
GAMBAR DALAM SATUAN MM

CATATAN REVISI

NO. TUL. DETAIL REVISI PARAF

KODE GBR. NO. GBR.

STR

26

SKALA

JUMLAH GBR

1:50

27

JUDUL GAMBAR

- DETAIL BALOK DAN KOLOM

DIGAMBAR OLEH :
MAHASISWA

BERNANAD KURNIA PRAYAT
NRP. 3112 105 054
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

(Stempel Dosen, jdi)
NIP. 19590213 198701 1 001

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum, **“Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (RSNI 03-2847-20XX)”**, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU, 20XX.
2. Departemen Pekerjaan Umum, **“Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (SNI 2833-20XX)”**, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU, 2013.
3. Departemen Pekerjaan Umum, **“Beban minimum untuk perancangan bangunan Gedung dan Struktur lain (RSNI 1727-20XX)”**, Jakarta: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 20XX.
4. Burns, Ned H. & T. Y. Lin, **“Desain Struktur Beton Prategang”**, Jakarta: Penerbit Erlangga, Edisi Ketiga, 1993.
5. Raju, N. Krishna, **“Beton Prategang”**, Jakarta: Penerbit Erlangga, Edisi ke-dua, 1986.
6. Wang, C. K dan Salmon, C. G, **“Desain Beton Bertulang”**, Jakarta: Penerbit Erlangga, Edisi ke-4 Jilid 1 & 2, 1990.
7. Departemen Pekerjaan Umum, **“Tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung(SNI 7833 2012)”**, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU, 20XX.
8. *American Concrete Institute Committee*, **“Analysis And Design Of Reinforced And Prestressed-Concrete Guideway Structures (ACI 358.1R-92)”**, Farmington Hills: American Concrete Institute, 1992.
9. *Automated People Mover System Consultant*, **“Design Criteria of Civil Construction of APM Bandara Soetta Guideway”**.
10. Nakazawa, Kazuto & Dr. Ir. Suyono Sosro Darmono, **“Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi”**, Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA PENULIS



Muhammad Ikhsan Hidayat lahir di Ujung Pandang, Sulawesi Selatan 28 Juli 1991, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Sambong Dukuh 1 Jombang, SLTP Negeri 1 Jombang, SMA Negeri 1 Jombang. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Jombang tahun 2009, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma ITS dan diterima di jurusan Teknik Sipil pada tahun 2009 dan terdaftar dengan NRP 3109.030.104. Di jurusan Teknik Sipil ini penulis

mengambil keahlian bidang studi Bangunan Gedung. Penulis juga pernah aktif dalam beberapa kegiatan organisasi kampus diantaranya anggota Departemen Technopreuner JMAA D3 Teknik Sipil ITS (periode 2010-2011), selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan beberapa kegiatan dan seminar yang ada selama menjadi mahasiswa.

Selanjutnya, penulis langsung melanjutkan sekolahnya ke jenjang S1 Teknik Sipil ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112.105.054. Selama perkuliahan ini penulis sempat bekerja di salah satu konsultan di Surabaya. Pada akhir masa perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil ITS, penulis mengambil bidang struktur dan memilih untuk menggunakan judul Tugas Akhir Struktur Track Monorel. Pemilihan pada Struktur Beton Pratekan Track Monorel ini karena ketertarikan penulis akan bidang struktur pratekan. Untuk keperluan Tugas Akhir ini bisa menghubungi penulis di email.

muhammad.ikhsan.hidayat@gmail.com.